



La formación de pensamiento crítico a través de la enseñanza de la Física: una aproximación a la Epistemología Feminista desde la Naturaleza de la Ciencia

Laura Álvarez Ramírez

Sebastián Moreno Parra

Alejandro López Cano

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciados y Licenciada en Física

Asesores

Ángel Enrique Romero Chacón, Doctor (PhD) en Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas

Diana María Rodríguez Ramírez, Magister (MSc) en Educación

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Licenciatura en Física

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Alvarez-Ramirez et al, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Alvarez Ramirez, L., Moreno Parra, S., & López Cano, A. (2024). *La formación de pensamiento crítico a través de la enseñanza de la Física: una aproximación a la Epistemología Feminista desde la Naturaleza de la Ciencia*. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



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

Departamento de las Ciencias y las Artes.



Centro de Documentación Educación

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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

A todas las niñas, jóvenes y mujeres que sueñan con ser científicas.

A todas las científicas que son fuentes de inspiración y a todas ellas con las que el mundo no ha sido justo y alentador.

Agradecimientos

Laura: Agradezco enormemente a mis colegas, Alejandro y Sebastián, por acompañarme con un compromiso inquebrantable y la conexión más real que pude imaginar nunca en este proceso de creación, convirtiéndose en mis compañeros académicos predilectos y amigos del alma. A mis padres, Marcela y Carlos, que con su compromiso y amor me han apoyado en cada paso, desde la coca con los sabores que me llenaron de energía cada día, las largas esperas por mi salida en la portería para llevarme sana y salva a casa, hasta cada abrazo y palabra que, sin saberlo, me llenaban de aliento en los momentos de agotamiento físico y mental. A mis maestros, Diana y Ángel, por enseñar y guiar con paciencia y sabiduría. A mis compañeros y docentes, Jenifer Muñoz, Juan Pablo Acevedo, Christian Vallejo, Yaneth Giraldo y otros, que enriquecieron de información académica este proyecto. Y finalmente, al CEFA y a la profesora Luz Stella Mejía, por acoger este proceso de aprendizaje que ha trastocado mi labor y mi ser.

Sebastián: A mis familias por su aliento incondicional y ayudarme a construir la persona que soy hoy, principalmente: a Rosario, mi madre, por todo ese amor y dedicación con la que me ha acompañado en cada paso; y a Alfredo, mi padrino, por siempre creer en mí y velar por mi bienestar. A todas mis amigas y amigos, por llenarme el corazón con recuerdos que atesoraré siempre. A mis profesoras y profesores, especialmente: a Diana Rodríguez y Ángel Romero, nuestros guías que apoyaron con paciencia y sabiduría este estudio; a Luz Stella Mejía por confiar en nosotros; a Tarcilo Torres, mi mentor en el campo de la investigación educativa; y a Jaime Osorio, por su forma de entender y enseñar la Física. A la comunidad del CEFA, sobre todo a las estudiantes de la promoción 2023, por reencontrarme con el sueño de enseñar y divulgar la ciencia. Si llego a convertirme en el maestro que espero ser, será gracias a ellas. A mis compañeros: Alejandro, por su cálida amistad y por brindarle a este trabajo su perspectiva crítica, creatividad y buen humor, cualidades que lo convierten en un maestro ejemplar; y a Laura, por hacer posible este trabajo con su liderazgo y compromiso, por ser mi amiga y mi mejor compañera. A ambos, mi admiración como profes, investigadores y personas.

Alejandro: A mis padres, Héctor y Claudia, mi hermana Daniela, mis tías Adriana, Genia y Beatriz, por hacer la persona que soy ahora, su apoyo incondicional, su respaldo y la paciencia en todo mi proceso como estudiante. A Laura, por su liderazgo, su paciencia y su dedicación para que este proyecto saliera y se escribiera de la mejor manera. A Sebastián, por sus comentarios de apoyo constante, por su carácter único y por ser el cómplice de mi humor peculiar; a ambos por acogerme y respaldarme en cada momento de mi carrera. A mi compañera querida Jenifer Muñoz, por la ayuda y la disposición para colaborar en el proyecto, también por las palabras de aliento ininterrumpido y cariño expresado. A nuestros asesores, Diana y Ángel, por su acompañamiento perseverante, insistente y continuo, su paciencia y su dedicación. A los maestros que de una u otra manera aportaron a la construcción del trabajo. A la UdeA y Facultad de Educación, por formarme como maestro y abrirme sus espacios. A Luz Stella y las estudiantes del CEFA por ser parte de este proceso. Por último, a Christian, donde quiera que se encuentre, siempre lo tendré presente.

Tabla de contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
1. Planteamiento del problema.....	13
2. Grado de pertinencia.....	21
3. Objetivos.....	23
3.1. Objetivo general.....	23
3.2. Objetivos específicos	23
4. Estado del Arte.....	24
4.1. El rol de la mujer en la ciencia como elemento constitutivo de las reflexiones sobre NOS	26
4.2. Pensamiento Crítico y su relación con la Epistemología Feminista.....	29
5. Marco Conceptual	32
5.1. Naturaleza de la Ciencia: la importancia de las metareflexiones de y sobre la ciencia.	33
5.2. El pensamiento crítico: una importante habilidad para fortalecer desde la escuela	39
5.3. Epistemología Feminista: una ruta para comprender el conocimiento científico con perspectiva de género	43
6. Metodología	53
6.1. Paradigma de investigación y método	53
6.2. El caso y su contexto.....	54
6.3. Técnicas e instrumentos para el registro de la información	55
6.3.1. Cuestionario.....	56
6.3.2. Grupos de discusión.....	57
6.3.3. Grupos de Enfoque	58
6.4. Propuestas pedagógicas.....	59

6.4.1. Tras las huellas de la gravedad: el legado de Émilie du Châtelet.....	59
6.4.2. Un viaje a las estrellas... con Cecilia Payne.	61
6.4.3. Entrevista Semiestructurada (ES).....	65
6.5. Sistematización y análisis de la información	67
6.6. Consideraciones éticas	71
7. Hallazgos	73
7.1. Abordaje de los fenómenos físicos a través de la NOS.	73
7.2. Pensamiento crítico en relación con la epistemología feminista de las ciencias.....	85
8. Conclusiones	111
9. Recomendaciones.....	114
Anexos	123

Lista de tablas

Tabla 1 Categorías e indicios 68

Tabla 2 Muestra de la matriz de análisis..... 69

Lista de figuras

Figura 1 Ecuaciones de búsqueda	24
Figura 2 Fundamentos de dispositivos espectroscópicos	51
Figura 3 Técnicas e instrumentos.....	58
Figura 4 Fichas controversia Émilie du Châtelet e Isaac Newton	60
Figura 5 Sistematización de SD1: Tras las huellas de la gravedad: El legado de Émilie du Châtelet	61
Figura 6 Fragmento de la recontextualización sobre Cecilia Payne	63
Figura 7 Sistematización de SD2: Un viaje a las estrellas... con Cecilia Payne	65
Figura 8 Relación entre instrumentos y la red de categorías e indicios	71
Figura 9 Respuestas de cada participante a las preguntas de sondeo previo del instrumento FK	75
Figura 10 Respuestas de cada participante a las preguntas de sondeo previo del instrumento FK enmarcadas en la categoría C2	89

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CEFA	Centro Formativo de Antioquia
CTS	Estudios Ciencia, Tecnología y Sociedad
DBA	Derechos Básicos de Aprendizaje
EBC	Estándares Básicos de Competencias
EC	Educación en Ciencias
ECCE	Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza
EF	Epistemología Feminista
EPG	Energía Potencial Gravitacional
ERIC	Education Resources Information Center
HC	Historia de la Ciencia
HFC	Historia y Filosofía de la Ciencia
LEE	Laboratorio de Economía de la Educación
MEN	Ministerio de Educación Nacional
NOS	Naturaleza de la Ciencia
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PC	Pensamiento Crítico
STEM	Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas
UA	Unidades de análisis
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

Este Trabajo de grado se constituye en el informe final del proyecto de investigación adelantado por los autores en el marco de la Práctica Pedagógica de la Licenciatura en Física de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). La investigación tuvo como propósito general es analizar cómo una perspectiva de enseñanza de la física, fundamentada en la Epistemología Feminista y la Historia y Filosofía de las Ciencias, favorece el desarrollo del pensamiento crítico de estudiantes de nivel medio. El proyecto plantea la importancia de incentivar posturas críticas ante los estereotipos y sesgos de género y así poder generar estrategias que favorezcan la equidad de género. Se acoge la investigación cualitativa, con un estudio de caso intrínseco, el cual se ha realizado con un grupo de estudiantes de undécimo grado de la Institución Educativa Centro Formativo de Antioquia. Para esto, se propone el diseño e implementación de secuencias didácticas basadas en prácticas científicas, fundamentadas en la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia. Los hallazgos exponen las unidades de análisis seleccionadas, describiéndolas e interpretándolas a través de un proceso de triangulación entre los testimonios de las participantes, el marco conceptual y la lectura de los investigadores. La implementación de las secuencias didácticas ha permitido evidenciar un aumento en el interés de las estudiantes por la física, así como un desarrollo en su capacidad crítica y argumentativa en torno a reflexiones sobre el rol de la mujer en la ciencia y aspectos que se han venido reclamando ser incluidos en el currículo escolar desde la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia.

Palabras clave: enseñanza de la física; epistemología feminista; filosofía de las ciencias; naturaleza de la ciencia; pensamiento crítico; Émilie du Châtelet; Cecilia Payne.

Abstract

This research project is framed in the pedagogical practices conducted by authors, who belong to the bachelor's degree in physics, at the University of Antioquia (Medellín, Colombia). Its general purpose is to analyze how a physics teaching perspective, supported on Feminist Epistemology, and History and Philosophy of Sciences, benefits the critical thinking development for students in high school. This research brings up the importance to incentive critical stances gender stereotypes and ideological bias, among at generating strategies for gender equity. As for the research method, a quality perspective is followed, specifically an intrinsic case study is carried out, having a group of eleventh grader from Institución Educativa Centro Formativo de Antioquia as participants. In fact, the research suggests a design and implementation of didactic sequences based scientific practices supported on Nature of Science of reference. The discoveries explain the selected units of analysis describing and interpreting through a triangulation process among participant's testimonies, the conceptual framework and researchers' analysis. The implementation of didactic sequences has shown an augmentation of student's interest in physics, as well as development of students' critical and argumentative skills related to reflections about women's role in sciences and other aspects to be included in the curriculum based on Nature of Sciences framework.

Keywords: physics teaching, feminist epistemology, history and philosophy of sciences, Nature of science, critical thinking.

Introducción

Este trabajo de grado consta de seis principales apartados. El primero ofrece el panorama general de la problemática, la pertinencia de la investigación, la pregunta y los objetivos de la investigación. En un segundo lugar se expone el estado de arte, desde el cual se definen las ecuaciones de búsqueda y los núcleos temáticos. El tercero, por su parte, sostiene el marco conceptual en donde se expresa y sustenta la postura conceptual de los autores y su relevancia en el estudio. El cuarto expresa la metodología que adoptó el estudio con el fin de atender a la problemática y a los objetivos de la investigación. En el apartado cinco se presentan los hallazgos y, finalmente, en el quinto se manifiestan las conclusiones a las que se llegaron, debelando una culminación satisfactoria, lográndose responder la pregunta y alcanzando los objetivos del proyecto de investigación.

En primer lugar, se trae a colación la perspectiva que la relación entre las ciencias naturales y la realidad sociocultural que nos rodea es esencial para comprender el mundo en que vivimos. Sin embargo, esta relación es a menudo ignorada en el sistema educativo, lo que conduce a una brecha significativa entre lo que se aprende en la escuela y sus aplicaciones en el mundo real. Para abordar esta cuestión se propone adoptar una perspectiva de la enseñanza desde Mundo de la Vida (MEN, 1998), desde el cual se comprende el mundo que nos rodea no es sólo una dimensión natural sino también sociocultural y es por tanto que se instaura como una ruta por la cual los procesos educativos aborden los intereses, las necesidades y las visiones del mundo intersubjetivo de los y las estudiantes.

A pesar de la importancia de estas perspectivas y nociones, la relación entre las ciencias naturales y la realidad sociocultural suele pasarse por alto en el sistema educativo. En concreto, la enseñanza de las ciencias naturales en las escuelas se presenta a menudo desconectada de la vida cotidiana de los alumnos. Este enfoque de la enseñanza de las ciencias naturales no sólo no consigue implicar a los y las estudiantes, sino que perpetúa la brecha entre las ciencias naturales y la realidad sociocultural, lo que conduce a una comprensión limitada del mundo que nos rodea.

En este contexto, este trabajo de grado pretende reflexionar sobre la brecha entre las ciencias naturales y la realidad sociocultural de las y los estudiantes en el aula de física y así proponer estrategias para mitigar esta. Con esto, la investigación tiene como objetivo contribuir un enfoque holístico y contextualizado de la enseñanza de la ciencia, teniendo en cuenta las relaciones

complejas y dinámicas entre ciencia y sociedad. Es en este sentido, que se adopta a la Naturaleza de la Ciencia (NOS, por sus siglas en inglés) (Izquierdo et al., 2016).

Reflexionar y reconocer que la educación es un dispositivo sociocultural (Martínez, 2014), que da forma a las personas y comunidades y funda grandes pilares el camino para sus futuros, posibilita comprender el valor de saber ciencia, ya que constituye un campo crucial para la innovación y el progreso en el mundo actual. En este mismo sentido, se resalta el rol importante de desarrollar y potenciar las competencias que demandan los contextos del siglo XXI, como el pensamiento crítico, habilidades comunicativas, trabajo colaborativo, entre otras (Fundación Omar Dengo, 2014). Es así como cobra sentido reflexionar críticamente sobre la equidad en la actividad científica, dando miras al rol de la mujer y cómo históricamente ha sido subrepresentada en la ciencia, y cómo diseñar e implementar estrategias en los contextos educativos puede favorecer la reivindicación del papel de la mujer y el interés del estudiantado por la ciencia. En este marco de ideas, el estudio busca contribuir al debate sobre los asuntos de brecha y estereotipos de género en el ámbito científico, explorando el potencial de una perspectiva de la Epistemología Feminista (Blázquez, 2012) en la enseñanza de la física.

Este estudio se contextualiza en las prácticas profesionales de los autores, las cuales se desarrollaron en el Centro Formativo de Antioquia (CEFA), el cual es un colegio público femenino de la ciudad de Medellín, Antioquia. La investigación se enmarca en el paradigma cualitativo y se utiliza un enfoque de estudio de caso intrínseco, contando con un grupo de ocho informantes pertenecientes al grado y grupo once con énfasis en matemáticas.

Se propone el papel de la NOS en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos de física. Por tal razón, el objetivo del estudio es analizar cómo la integración de la NOS en la enseñanza de la física afecta a la comprensión de la materia por parte de las alumnas y a su capacidad para comprometerse críticamente con los conceptos científicos. De esta forma, se motiva la necesidad de promover un enfoque más crítico y reflexivo de la enseñanza de las ciencias que vaya más allá de la mera adquisición de hechos y principios científicos. Es así, que mediante la integración de las NOS en la enseñanza de la física, el estudio pretende proporcionar a las estudiantes una comprensión más completa y significativa de la física desde la reivindicación de la mujer en la ciencia, así como fomentar sus habilidades de pensamiento crítico y su capacidad para comprometerse con la ciencia de una manera significativa.

1. Planteamiento del problema

El Ministerio de Educación Nacional (MEN), en los Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de 1998, menciona el concepto de El Mundo de la Vida, tomado de la fenomenología de Husserl (1935). Con esto, propone que los procesos educativos que tienen lugar en las escuelas atiendan a los intereses, las necesidades y las visiones del mundo intersubjetivo (MEN, 1998). Dicho mundo intersubjetivo alude a las dinámicas propias de un sistema cultural, como lo son las cuestiones políticas, económicas, lenguaje, creencias o ideologías, que constituyen y forman a cada individuo al estar inmerso en un sistema cultural. En consecuencia, existe el propósito de asegurar que los contenidos sean útiles, coherentes a cada estudiante. En este punto, se hace necesario nombrar que dicho sistema cultural, el mundo que habita cada sujeto, está regido por dos realidades fundamentales: la realidad del mundo natural y realidad del mundo sociocultural (Merleau-Ponty, 1945). Se entiende la realidad natural como la que se estudia desde las ciencias naturales (química, biología y física), es decir, la realidad que se compone por el interés y el trabajo riguroso en búsqueda constante por la comprensión amplia y rica sobre el mundo, asumiéndolo como un conjunto de fenómenos naturales que configuran las dinámicas y las formas de existir, y que, a través de procesos y metodologías, es posible constituir en leyes, reglas o teorías. La realidad sociocultural, por su parte, alude a todos aquellos fenómenos que permean, componen y condicionan al ser humano más allá de la realidad natural, esto es, los fenómenos culturales, sociales, políticos y económicos. De esta manera, poner al orden reflexiones y discusiones que integren estas realidades implica una comprensión rica y diversa del mundo, pues permite evadir sesgos que pueden presentarse al poner foco de atención en una única realidad. Para concretar, a lo largo de la historia de la humanidad se han presentado numerosos episodios en los cuales se ha evidenciado la relevancia de generar reflexiones en torno a las maneras de entender la naturaleza, pero es fundamental que no pierda de vista sus implicaciones en la constitución de la realidad humana. Para ejemplificar, pueden nombrarse el desarrollo de la bomba nuclear o de los antibióticos, que se instauran en el marco de la realidad natural, pero también en la realidad sociocultural, en tanto pone en evidencia la estricta necesidad de razonar y asumir el impacto o consecuencias que traen consigo estos desarrollos científicos. Se comprende así, que el diálogo crítico y contextualizado entre estas realidades es el denominado mundo de la vida.

A pesar de la relevancia de este diálogo, y que se evidencie histórica y cotidianamente la relación intrínseca y necesaria entre las ciencias y su trascendencia en las sociedades y culturas, estas dos realidades usualmente se conciben distantes. Particularmente, la distancia entre ambos saberes se posiciona y refuerza en los procesos de enseñanza-aprendizaje, fundando obstáculos y limitaciones en la formación de las perspectivas de los y las estudiantes acerca de la utilidad, menester y coherencia de los distintos saberes y contenidos que proporciona la escuela. En efecto, existe abundante evidencia en relación con la ausencia de contextualización de los conocimientos, especialmente el científico, y el desentendimiento de vínculos con la cotidianidad (Jaramillo & Aguirre, 2008). Para ilustrar, en la enseñanza de la termodinámica, a menudo se presentan sus principios y leyes sin mencionar los experimentos y descubrimientos que llevaron a su desarrollo y relevancia para la vida cotidiana. En primer lugar, no se muestra desde una amplia y reflexiva contextualización histórica, la cual pueda enmarcar cercanía como, por ejemplo, el trabajo de Carnot y sus postulados sobre la eficiencia de las máquinas térmicas o los procesos científicos, históricos y sociales sobre las escalas de temperatura estándar. Estos hechos, brindan la necesidad o la posibilidad de abrir debates acerca de los factores y derivaciones que desligan la realidad sociocultural del estudiante y los contenidos curriculares, o, dicho en otras palabras, la brecha entre el mundo de la vida de los estudiantes y los saberes escolares (MEN, 1998).

De una manera bastante general, en escuelas de todo el mundo se ve reflejada esta lejanía entre las realidades de los conocimientos que se adquieren en la escuela y su relación con la vida real, con el mundo de la vida. En particular, la carente adecuación de los contenidos o saberes postulados por los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales a la luz del contexto propio de Colombia se sitúa como objeto de reflexión crítica (Castillo, 2008). Aunque el currículo reconoce la importancia de relacionar el contenido científico con el mundo de la vida, como se planteó al inicio de este capítulo, la manera en que se aborda esta relación es insuficiente puesto que no se evidencian los resultados o competencias que se propone. Además, se encuentran limitaciones en los planes de estudios, en tanto, se reducen a tratar únicamente contenidos de física clásica, dejando de lado otros contenidos relevantes de física. Para ilustrar, se puede considerar que los contenidos de termodinámica abarquen más allá asuntos sobre el calor específico o las escalas de temperatura; que el electromagnetismo no se reduzca a los circuitos en serie y paralelos; que la relatividad abarque de manera explícita la relevancia de entender los sistemas de referencia, cuestión importante para comprender la energía potencial. Problematizando más este panorama, se

adicionan las dificultades que surgen a razón del afán de atender las exigencias de las políticas educativas, como los Estándares Básicos de Competencias (EBC), en el sentido de lo apretado que suelen ser los tiempos en las escuelas para poder atender a su cumplimiento. No obstante, se rescata el importante análisis sobre el deber de contemplar la extensa diversidad cultural, social, geográfica y económica del país que postula los lineamientos (Ruiz, 2018). Estos exponen que Colombia, en particular, es una nación con una indudable variedad de contextos y realidades: desde comunidades rurales o zonas de alta biodiversidad, hasta áreas urbanas o con problemas ambientales concretos, respectivamente. Es por esto, que pasar por alto o desdeñar dicha diversidad lleva a que, indiscutiblemente, la enseñanza de la ciencia carezca de significado y valor para los y las estudiantes.

La diversidad presente en las escuelas, como en la cultura misma, se comprende como una riqueza en tanto es fuente de posibilidades para aprender, enseñar y construir las diferentes formas de concebir el conocimiento científico. A pesar de esto, suele dejarse en entredicho la relación y trasfondo entre los conocimientos científicos y la dimensión cultural (Romero, et al., 2016). En particular, los asuntos relacionados con la confrontación de la brecha social de género se abordan de forma bastante diluida en el contenido curricular de Ciencias Naturales y de Física en concreto. Las necesidades y las experiencias de mujeres y niñas terminan siendo eclipsadas cuando son subrepresentadas por la malla curricular en la cual se enmarcan las clases (Sinnes & Løken, 2012). En consecuencia, se evidencia una exclusión histórica de la perspectiva femenina en la construcción del conocimiento científico y sesgos de género en su enseñanza a nivel global (Gálvez-Méndez, 2020). Esta situación ha contribuido al fortalecimiento implícito e indirecto de los prejuicios y estereotipos de género, entendidos como el conjunto de creencias adquiridas a través de la cultura por medio de las cuales se socializa y se transmite lo que es y no apropiado para el desarrollo de la personalidad del hombre o la mujer -distinción por sexo-. Estas creencias y representaciones sociales tienen, además, trascendencia y poder en la realidad sociocultural y en la forma de entender la naturaleza (Rippon, 2020), aspecto por lo cual inciden en la configuración de concepciones sesgadas sobre las ciencias y su desarrollo, dando lugar a obstáculos en el aprendizaje de las ciencias en mujeres y niñas.

Estudios como el de la UNESCO con su Informe sobre la Brecha de Género en la Ciencia (2020), el Laboratorio de Economía de la Educación (LEE) con su informe titulado Las mujeres en

carreras STEM (2022) o Rodríguez, Vimieiro y da Silva (2022), han mostrado evidencia sobre la brecha de género en las ciencias, la cual se prolonga debido a la reproducción y el sostenimiento de estereotipos de género. En este sentido, históricamente se ha considerado que, por sus condiciones biológicas y mentales, la mujer desempeña el papel de cuidadora, emocional e intuitiva, a diferencia del hombre que juega el papel de dominante, racional y teórico (Fernández, 2000). Ello ha dado lugar a la “feminización” y la “masculinización” de las diferentes áreas del conocimiento (LEE, 2022), denominándolas ciencias blandas y ciencias duras respectivamente. Es en este sentido que las áreas consideradas dentro del modelo STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) son frecuentemente asociadas con la masculinidad (Koonce & Anderson, 2011). Puntualmente, esto se refleja en el informe número 67 (LEE, 2023) en el que se expone que para el año 2021 en Colombia el 62,2% de las personas graduadas de programas STEM fueron hombres y solo el 37,8% fueron mujeres, considerando que para ese mismo año las mujeres en Colombia representaban el 51,2% de la población total (DANE, 2022). De hecho, en palabras de Abadía & Bernal (2017), “en Colombia los resultados del Saber 11 evidencian amplias brechas de género en contra de las mujeres desde el colegio en áreas de matemáticas y ciencias” (p. 9). Se evidencia, entonces, que la brecha de género en carreras STEM guarda una estrecha relación con las nociones epistemológicas que culturalmente se conciben acerca de los roles de género, las cuales se van fundamentando y reforzando desde la escuela en las diferentes formas en las que se presentan los contenidos STEM.

Para hacer frente a los obstáculos ocasionados por los sesgos de género en las ciencias y su extrapolación a los diferentes ambientes de la sociedad y dimensión cultural, como el contexto escolar, se requieren acciones que conlleven a reflexiones críticas, desde la contemporaneidad, sobre las concepciones socioculturales imperantes y su trascendencia a las nociones sobre ciencia. En concordancia, se requiere explorar y adoptar perspectivas sobre las denominadas Habilidades del Siglo XXI, las cuales son el conjunto de capacidades y aptitudes que permitan al estudiante encarar los desafíos que acrecientan en la actualidad (Fundación Omar Dengo, 2014). Para efectos del presente estudio, se pondrá el foco de atención en el desarrollo la habilidad de Pensamiento Crítico (PC), debido a su gran potencial de generar en el individuo reflexiones sobre sí mismo y su entorno constituyéndose como una habilidad fundamental para afrontar las dinámicas, exigencias y necesidades de la realidad actual (Montoya, 2007). Se asume, entonces, el PC como aquel que posibilita reflexiones y praxis conscientes, que comprenden y develan el rol de los aparatos de

reproducción ideológica que posee el mundo sociocultural (violencia simbólica, instauración de verdades, ideas y cosmovisiones) (Facione, 2007), y consecuentemente, se presenta como una oportunidad para construir análisis que llevan a la apropiación de “el papel que cada persona debe jugar en la sociedad” (Martínez, 2014, p. 51). De forma análoga, promulgar reflexiones críticas sobre la Epistemología de las Ciencias desde el punto de vista feminista (Blázquez, 2012), llevaría a favorecer procesos formativos de reivindicación y reevaluación sobre el rol de la mujer en la sociedad que contribuyan al cuestionamiento y la reducción de la brecha social de género, en el contexto de las ciencias y su enseñanza particularmente.

Sin embargo, a pesar del llamado de algunos autores como Escárcega (2014), se evidencia una falta de flexibilidad o de consideración en las políticas educativas como los EBC y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA). La lectura de dichas políticas en el área de Ciencias Naturales dejó en evidencia su enfoque en el desarrollo de habilidades y contenidos disciplinares, se alejan de un enfoque histórico y filosófico de la enseñanza de la ciencia. En consecuencia, las dimensiones epistémicas (naturaleza del conocimiento y de sus procedimientos) y no-epistémicas (factores de sociología interna y externa) de las ciencias (García Carmona & Acevedo Díaz, 2015), están ausentes en los currículos. Esta ausencia problematiza aún más lo dicho y conduce en muchas ocasiones a la omisión de los enfoques históricos y de género por parte del profesorado, justificada en su ausencia en los currículos escolares, generando divergencias entre los saberes científicos y el mundo de la vida. Si bien los EBC y DBA en Ciencias Naturales se posicionan en un marco normativo crucial para orientar la enseñanza y el aprendizaje en esta área del conocimiento, asimismo es importante reconocer y cuestionar su tendencia a enfocarse en el desarrollo de contenidos y habilidades científicas específicas, relegando el componente epistemológico y, en especial, la Epistemología Feminista (EF).

Estos aspectos han sido ya resaltados por investigaciones como Lederman (2007), quien asume que la perspectiva denominada Naturaleza de la Ciencia (NOS, por sus siglas en inglés Nature of Science) “es una idea fundamental en la educación científica, pero en la práctica, suele ser subestimada o no tratada en absoluto en los currículos de ciencias” (p. 109). En la misma dirección de ideas, otro beneficio de la NOS, que a menudo se pasa por alto en los EBC y DBA son el aporte al desarrollo del PC (Montoya, 2007). Pasar por alto esta potencialidad de la NOS establece obstáculos para los procesos de enseñanza y aprendizaje de ciencias, de la física. En particular, porque “la alfabetización científica incluye no solo el conocimiento de los hechos

científicos, sino también la comprensión de cómo se producen estos hechos, cómo se confirman y cómo pueden ser cuestionados" (Osborne, 2010, p. 14). En resumen, una enseñanza integral de las ciencias y especialmente de la física implica no solo la memorización de leyes y fórmulas, sino observar, interpretar y evaluar críticamente los fenómenos y cómo la comprensión de estos forman y trascienden al sistema cultural, modificando o sustentando las distintas dinámicas que configuran al mismo, como lo es la relación entre ciencia y género.

Retomando los asuntos que incitan a reflexiones sobre la relación ciencia y género, se pone en evidencia que, a pesar de los notorios avances en asuntos de igualdad de género (UNESCO, 2020), las mujeres siguen estando subrepresentadas en muchas disciplinas STEM (LEE, 2020), enfrentando barreras en dichas carreras debido a estereotipos de género y sesgos implícitos (Sinnes & Løken, 2012). Por consiguiente, nos encontramos ante una oportunidad inminente para atender la necesidad de promoción de equidad de género en ciencias desde las clases de física. Es por ello por lo que se congregan las ideas planteadas hasta el momento, con el fin de orientarlas hacia la formulación de propuestas educativas que busquen la reivindicación a través de reflexiones críticas del papel de la mujer en la ciencia. En términos generales, se argumenta que enriquecer la representación de referentes femeninos en ambientes educativos podría contribuir a la mitigación de los sesgos de género. Consecuentemente, esto podría promover un refuerzo o incremento en la participación más equitativa de las mujeres en las ciencias y otras demás carreras STEM (Ross, Galaudage & Clark, 2023), o por lo menos atribuir reflexiones críticas que aludan a la importancia de significar los conocimientos científicos.

Con la intención de comprender con mayor detalle esta situación problemática, y explorar las oportunidades y desafíos hasta aquí enunciados, se propuso desarrollar el proyecto investigativo en La institución educativa Centro Formativo de Antioquia (CEFA), ubicada en la ciudad de Medellín-Colombia. Dicha entidad fue donde los investigadores realizaron su proceso de práctica profesional a lo largo del año 2023. El CEFA es un colegio femenino de carácter público que ofrece los niveles de secundaria, media académica y técnica. Adicionalmente, según la Guía del Modelo Pedagógico Institucional (2022), "la institución educativa CEFA articula el Modelo Pedagógico Didáctico Operativo con la estrategia SER+STEM con el fin de continuar con la tarea de generar transformación educativa al interior de la institución y en la ciudad de Medellín como un compromiso compartido". Dicha condición es idónea para llevar a cabo una indagación sobre las dificultades que la enseñanza tradicional de la física causa en el aprendizaje de mujeres y niñas,

debido a que en este ambiente escolar confluyen la integración de un modelo pedagógico orientado a la enseñanza STEM con una población exclusivamente femenina.

Sin embargo, durante las intervenciones iniciales de los investigadores en las aulas en el marco de las prácticas profesionales, se pudo identificar una serie de dificultades para el aprendizaje de la física. Inicialmente, las estudiantes de varios grupos del grado once del CEFA manifestaron una desconexión con los saberes a causa de la poca relación con su mundo de la vida, y una perspectiva que la reducía a la matemática sin trascendencia explícita a su relación con los fenómenos de la realidad natural. En contraste, los investigadores tenían indicios del interés de las estudiantes por actividades relacionadas a un enfoque filosófico e histórico, es decir, actividades que impliquen preguntar e indagar sobre los fenómenos de la naturaleza, rastreando qué es lo que han hecho o han pensado otras personas a lo largo de la historia para comprender por qué y cómo se concibe el mundo y el universo. Para afinar esta premisa, se realizó una encuesta tipo Likert (que se expondrá y ampliará en el Marco Metodológico), cuyo análisis preliminar brindó algunas nociones de cómo abordar el estudio. En particular, se resalta el interés de las estudiantes por aprender física desde, según la interpretación de los investigadores, nociones de NOS e Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC).

Así, en pocas palabras, en la presente investigación se asume a la HFC como una fuente de posibilidades que acerca a una humanización de la ciencia, a su interpretación y, como consecuencia, de su enseñanza. Una enseñanza de la ciencia fundamentada en reflexiones de HFC favorece las concepciones sobre la realidad desde su esfera natural y socioculturales, constatando trascendencia en la constitución de cada sujeto y su importancia en cómo vive e interviene en su propio contexto. Por ende, estas reflexiones atraen y requieren, a su vez, el desarrollo de capacidades críticas necesarias para la cotidianidad de los ciudadanos, contribuyendo a la superación de esa ciencia estereotipada.

Por otro lado, las estudiantes expresan sus deseos de iniciar procesos de enseñanza y aprendizaje en las clases que profundicen y reivindiquen en el rol de la mujer, sin exceptuar las ciencias y en particular a la clase de física. Es en el marco de esta pretensión que se asume útil la propuesta de la EF en Blázquez, et al. (2012), el cual será ampliado rigurosamente en el marco conceptual, en tanto presenta e induce reflexiones sobre los roles social y culturalmente atribuidos a las personas a razón de su sexo. En contraposición, manifiestan inconformidad y apatía por las clases de física magistrales y los contenidos tradicionales alejados de sus contextos. En este orden

de consideraciones, superar desde la enseñanza los convencionalismos relacionados a la historia de las ciencias puede, a priori, motivar a las estudiantes a reflexionar críticamente sobre los prejuicios en las ciencias, como la segregación a razón del género, orientación sexual, raza, creencias religiosas, etc. Es en este panorama, que la problemática se aprecian las posibilidades de reflexionar y crear un enfoque de enseñanza de la física que relacione la HFC y la EF que pueda brindar a las estudiantes herramientas que despierten el interés por la ciencia y les permita entender asuntos de y sobre el conocimiento científico desde diferentes puntos de vista relativos a sus realidades.

Todo lo anterior conlleva a la pregunta de investigación ¿Cómo puede la incorporación de la epistemología feminista en la enseñanza de la física desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las estudiantes de grado once del CEFA?

En consecuencia, se propone un trabajo de investigación que permita la comprensión de la subrepresentación femenina en las ciencias a través de reflexiones, que se plantea para el fortalecimiento del PC de las estudiantes.

2. Grado de pertinencia

Las estudiantes del CEFA, son ejemplo de solidaridad y sentido crítico al rechazar abiertamente la injusticia social y las dinámicas patriarcales que afectan al rol de la mujer en la sociedad. Específicamente, durante marzo de 2022 las estudiantes resaltaron por protestar en favor de la reivindicación de sus derechos y en contra de las problemáticas de violencias basadas en género (VBG) que padecen las estudiantes de todo el país al interior de las instituciones educativas de los distintos niveles. Estos hechos pusieron en evidencia la necesidad de fortalecer y de generar estrategias transversales a todas las áreas que posibiliten reflexiones críticas sobre los asuntos de género con el objetivo de producir cambios tanto en las instituciones educativas, como en la sociedad misma.

Con base en lo anterior, este estudio pretende indagar y profundizar sobre la subrepresentación femenina en la HFC, como uno de los factores que generan apatía por parte de las estudiantes de grado once del CEFA, hacia las clases de Física. El propósito es preservar la fascinación de las estudiantes por el aprendizaje de las ciencias desde un enfoque histórico a través de la reflexión crítica sobre la Epistemología de la ciencia y cómo los estereotipos de género afectan sus percepciones de esta. Así, se pretende mejorar la disposición hacia los contenidos curriculares en el área de Física a través del diseño e implementación de propuestas didácticas enfocadas al análisis de la HFC en consonancia con la EF.

De acuerdo con lo establecido en el planteamiento del problema del presente estudio, es de gran relevancia investigar sobre las cuestiones de género que causan desinterés en las estudiantes para identificar y atender las dificultades que perpetúan la brecha de género en la ciencia a nivel educativo. La investigación sobre el impacto de la brecha de género en el aprendizaje de la Física busca enriquecer la experiencia educativa de mujeres y niñas. A su vez, ofrecer una postura crítica sobre los roles de género en la ciencia propicia una comprensión más completa de la misma; entendiendo así que el saber científico ha sido moldeado por personajes de todos los géneros y los orígenes. Particularmente, las estudiantes del CEFA manifiestan dificultad para identificarse con la Historia de la Ciencia (HC) debido al evidente predominio de personajes masculinos por encima de los femeninos. Por ello, se estima que la reivindicación del rol de la mujer en la HFC estimule un acercamiento de las alumnas al conocimiento del área.

Finalmente, la propuesta se configura como una alternativa en la que las estudiantes de undécimo del CEFA, adquieren interés por aprender física a través de la HFC ya que, según Izquierdo, et al. (2016):

La HFC nos proporcionan recursos importantes para iniciar un diálogo desde la ciencia escolar, ofreciendo narraciones e historias que introducen a los estudiantes en una actividad científica llevada a cabo por personas “reales”, con sus propias motivaciones y expectativas; que vivieron situaciones políticas y sociales concretas que influyeron en su trabajo; y también para alimentarlo y ofrecerle modelos, puesto que la discusión y el convencimiento del oponente forma parte intrínseca de esa actividad científica. (p. 43)

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Analizar cómo una perspectiva de enseñanza de la física, fundamentada en una perspectiva feminista de la Historia y Filosofía de las Ciencias, favorece el desarrollo del pensamiento crítico de estudiantes del grado once del CEFA.

3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las concepciones de las estudiantes del grado undécimo del CEFA sobre el papel de la mujer en la ciencia.
2. Analizar los discursos de las estudiantes relativos a la subrepresentación femenina en la ciencia, a través de la implementación de secuencias con enfoque didáctico basado en prácticas científicas, focalizadas en los trabajos de mujeres científicas.
3. Valorar las posibles contribuciones de una propuesta de enseñanza de la física, fundamentada en los trabajos de mujeres científicas al desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes del grado undécimo del CEFA.

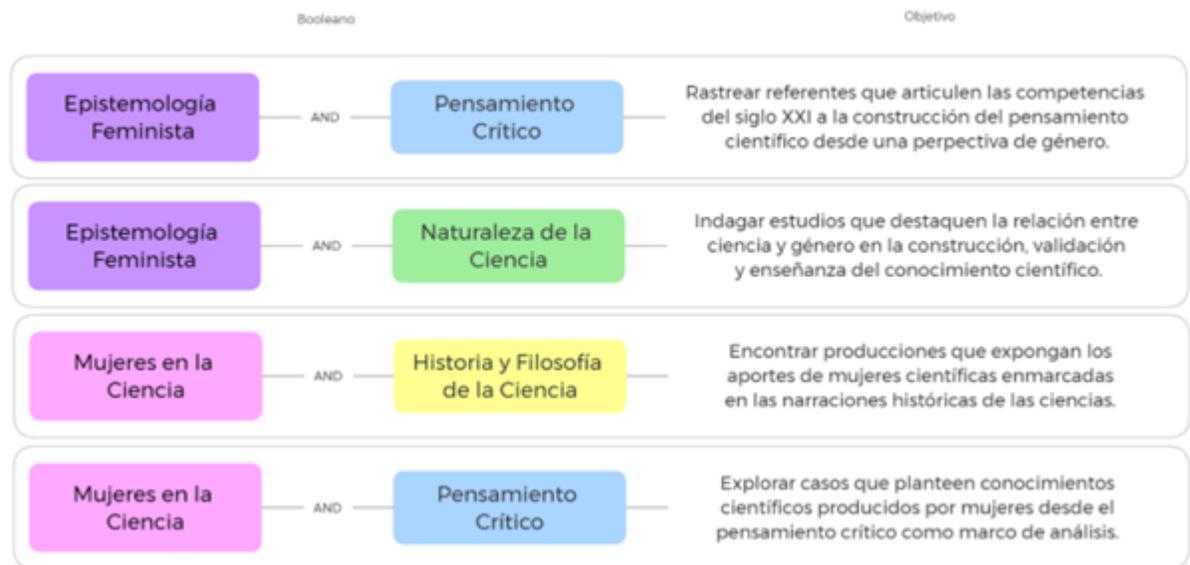
4. Estado del Arte

La construcción del Estado del Arte se fundamentó en algunas fases que propone Hoyos (2000), para una investigación de tipo documental, a saber: 1) Fase preparatoria, que consta de la identificación de la problemática, referentes teóricos, planteamiento de objetivos, pregunta de investigación y establecer los núcleos temáticos; las primeras acciones de esta fase se mencionaron en los anteriores apartados. 2) Fase descriptiva, la cual se refiere a la búsqueda de antecedentes teóricos, a través de bases de datos y repositorios. 3) Fase interpretativa por núcleo temático, con el fin de realizar la construcción y sistematización más pertinente de los referentes teóricos de este proyecto investigativo, esta requiere de la integración de los núcleos temáticos para constituir las ecuaciones de búsqueda. Estas dos últimas fases se reflejan y fundamentan la presente sección y la posterior construcción del Marco Conceptual.

Atendiendo la fase preparatoria propuesta por Hoyos (2000), se hizo uso del software Mendeley para la lectura, organización y análisis de la bibliografía. Para la búsqueda de los referentes conceptuales y demás bibliografía se usaron como palabras clave: Epistemología Feminista, Pensamiento Crítico, Naturaleza de las Ciencias, Historia y Filosofía de las Ciencias y Mujeres en las ciencias, con sus respectivas traducciones al inglés (Feminist Epistemology, Critical Thinking, Nature of Science, History and Philosophy of Sciences, Women in Science). De esta manera, se plantearon las ecuaciones de búsqueda con el operador booleano AND para emparejar, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Ecuaciones de búsqueda



Nota: Esta figura representa las ecuaciones de búsqueda usadas en la investigación y su respectivo objetivo de búsqueda. Figura hecha por los autores en XMind.

Dicha búsqueda se realizó en las bases de datos Scielo, Dialnet, Google académico, ERIC y DOAJ; también se hizo uso de la red social académica Research Gate para generar una bola de nieve que condujera a textos de otros autores de interés. La búsqueda se enfocó en un rango temporal de diez años, pero se visualizaron otros textos de interés y relevancia que salieron de este rango, como lo fueron Husserl (1935), (Merleau-Ponty, 1945), Elkana (1983), (Arcà, Mazzoli y Guidoni, 1990) o Matthews (1994). De esta manera, se obtuvo como resultado 39 documentos (artículos de investigación, tesis académicas, capítulos de libros, etc.) en español, inglés y portugués. Del total de resultados se descartaron 8 textos por la poca similitud con los intereses y objetivos del proyecto, dejando 32 textos referentes para ser analizados rigurosamente. Dichos documentos se organizaron en los siguientes núcleos temáticos: El rol de la mujer en la ciencia como elemento constitutivo de las reflexiones sobre NOS, y Pensamiento Crítico y su relación con la Epistemología Feminista. Es en este punto que se puede considerar finalizada la fase preparatoria para dar lugar a la fase interpretativa. En este sentido, es prudente exponer una descripción sucinta de los textos analizados, destacando los antecedentes relativos al presente proyecto, además de atender al enriquecimiento y sustentación de los núcleos temáticos nombrados.

4.1. El rol de la mujer en la ciencia como elemento constitutivo de las reflexiones sobre NOS

En primera instancia, se destaca a la línea de investigación de la NOS como un eje temático crucial debido carácter metareflexivo, al ofrecer una amplia gama de discusiones sobre las ciencias, como lo plantean Izquierdo, et al (2016), Tamayo, et al. (2010) o García-Carmona y Acevedo-Díaz (2015). Algunas de tales discusiones y reflexiones son la naturaleza tentativa y revisable del conocimiento científico, la historicidad y evolución de las ideas científicas a lo largo del tiempo, el papel de la creatividad y la imaginación, la argumentación y la justificación en la ciencia y la interacción entre la ciencia y la sociedad, incluyendo aspectos éticos y sociales. Es importante señalar que estas reflexiones abarcan tanto el conocimiento científico en sí mismo, en cuanto a sus contenidos y procedimientos, como las consideraciones socioculturales que influyen en los intereses científicos y las implicaciones de sus resultados; definiéndose como las reflexiones de la ciencias y sobre la ciencia, respectivamente. En este sentido, desde la perspectiva de la NOS se atiende a, como el término indica, un equilibrio entre las reflexiones de y sobre ciencia. Dicha noción se enmarca en una diversidad de posibilidades que favorecen a la enseñanza de la ciencia, pues permite que los docentes en los procesos de enseñanza consideren los sesgos e intereses que permean las diferentes visiones sobre la ciencia y, como consecuencia, se generen propuestas educativas que no sitúen al conocimiento científico como superior a los demás tipos de conocimientos o como verdades absolutas.

En este orden de ideas, Tovar-Gálvez (2021) plantea un marco teórico que pretende apoyar el proceso de docentes en el diseño de prácticas didácticas que sean inclusivas en aulas culturalmente diversas. Propone el concepto de puente epistemológico, integrado por el principio de independencia epistemológica y el principio de similitud epistemológica, el cual busca fomentar el reconocimiento de la diversidad cultural, promoviendo el diálogo, el aprendizaje mutuo y el respeto entre las diferentes perspectivas epistemológicas.

Los objetivos del estudio exigen tener en consideración en las reflexiones y consideraciones de la NOS y asuntos de la ciencia que históricamente han sido permeados y sesgados por estereotipos de género, los cuales se han considerado recientemente en la historia de las distintas áreas del conocimiento. En este sentido, el autor insta la EF como un eje temático con un peso bastante significativo en la educación, y en fundamento en una revisión rigurosa de literatura. En consonancia, se acogen las reflexiones planteadas por Solano (2024) al proponer la imperante

necesidad de indagar sobre la intersección entre los Estudios Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), la epistemología feminista y la perspectiva decolonial, brindando una propuesta argumentada para repensar nuevos caminos para comprender los pasados y futuros horizontes epistemológicos. Se resalta también la importancia de reconocer el carácter histórico y social del conocimiento, así como la necesidad de diálogos epistemológicos que expongan los sesgos que generan desigualdades estructurales en la sociedad, tales como género, raza, ideología, entre otros, para reevaluar y encaminar los procesos de producción y validación del conocimiento libres de dichos sesgos.

Por su parte, Rubio (2023) destaca la importancia de pensar los descubrimientos y la justificación del conocimiento científico de manera contextualizada, anotando que esta perspectiva permite explorar el surgimiento de los estudios feministas sobre la ciencia, constituyendo las epistemologías feministas. El autor postula que dicha manera de concebir la ciencia permite visualizar la íntima conexión entre el panorama social y las ideas científicas, sustentando que los estudios en la ciencia han sido influenciados por narrativas androcéntricas, ignorando las experiencias y contribuciones de las mujeres a lo largo de la historia de la ciencia.

Complementando, Guil Bozal (2016) invita a investigar y analizar los distintos problemas sociales desde la perspectiva de género, de la perspectiva femenina, destacando la experiencia y objetividad tradicional. Además, replantea los métodos científicos, promoviendo la voz de la mujer para destacar la importancia de la igualdad de género, trayendo a colación antecedentes históricos donde las mujeres han contribuido a la ciencia desde sus orígenes. Recalca que en la historia se ha invisibilizado el rol de la mujer científica y que el aumento de presencia femenina en las universidades representa una revolución ya que se invita a cuestionar los sesgos que permean el desarrollo de la ciencia, proporcionando así una nueva perspectiva más rica y diversa.

En este mismo sentido, Sinnes y Løken (2012) consideran que no reflexionar ni intervenir desde estas perspectivas de género implican el sostenimiento y reproducción sesgos de género en la educación y las carreras científicas (incluso en países con igualdad de género) que encauzan a las mujeres a la tendencia por elegir carreras históricamente feminizadas. Los autores critican la idea de la educación científica tradicional, ya que puede reforzar estereotipos de género. Su análisis se centra en el proyecto de investigación noruego Voluntad-Elección-Exclusión, que busca aumentar la participación femenina en ciencias. A partir de la cual destacan la importancia de

escuchar las diversas narrativas de las mujeres que eligen carreras científicas para comprender la diversidad de experiencias y evitar la creación de estereotipos.

Otra investigación que apoya estas ideas es la de de Ross, Galaudage y Sweaney (2023), a través de la cual se revisan las implicaciones de la poca representación de género en los cursos de ciencias de secundaria en Australia. El estudio muestra que la falta de menciones de mujeres científicas, así como de representantes de otras etnias, culturas y orientaciones sexuales, sugiere una clara falta de diversidad en los procesos de producción y legitimación de conocimiento científico; como consecuencia, esto puede afectar la identidad y la participación de las estudiantes en áreas STEM. Los autores plantean que incluir contenidos y discusiones sobre representación femenina en los currículos es importante (siempre reconociendo el contexto histórico y contextual), pues implica alternativas para alejar los sesgos de la narrativa occidental y androcéntrica que permita más diversidad y potencien en el conocimiento y los desarrollos científicos.

De la misma manera, Dengate, et al. (2021), en un estudio realizado con una población de profesoras de universidades canadienses, dedujeron que las maestras que percibían menos sesgos de género en el ámbito académico en las disciplinas STEM tenían 1.77 veces menos probabilidad de estar de acuerdo con la idea de que es difícil obtener el reconocimiento de los demás académicos. El estudio corroboró que en las universidades existe un vínculo entre la experiencia de mujeres profesoras STEM con los sesgos de géneros y la conservación de las jerarquías universitarias a razón del género, las cuales perpetúan dinámicas sesgadas y cargadas de estereotipos de género que se reflejan en la disposición de los liderazgos en cargos administrativos, de producción académica y de conocimiento científico.

En armonía con lo que se ha dicho, Gálvez-Méndez (2015), en su tesis doctoral, menciona que en contextos institucionales chilenos se invisibiliza el rol de la mujer en el ámbito científico, resaltando que, desde los procesos académicos, las relaciones humanas, la subjetivación y la subordinación de los saberes se ha favorecido a las desigualdades de género. Además, la autora critica al currículo de ciencias porque en éste hay ausencia de temas relacionados con el género, llevando a concluir que esa ausencia niega la capacidad y el reconocimiento de la labor femenina en la ciencia.

Considerando lo anterior y estableciendo una comparación con el contexto colombiano, se presentan los hallazgos del informe del Laboratorio de Economía de la Educación (LEE, 2023), que brinda un análisis sobre la participación de las mujeres en carreras STEM en Colombia,

destacando que la brecha de género en estas áreas persiste con solo el 37,9% de mujeres en 2021. El informe menciona que la poca participación femenina en procesos de innovación en el desarrollo tecnológico y científico generan que estos estén sesgados, aislando las necesidades e intereses de las mujeres. El informe invita a la intervención pertinente de acciones basadas en perspectiva de género desde la escuela hasta la educación superior para fomentar la participación de las mujeres en estas áreas, y concluye que, con las debidas intervenciones que prioricen la equidad de género se puede conseguir un impacto positivo en el desarrollo social, científico y económico.

4.2. Pensamiento Crítico y su relación con la Epistemología Feminista

Se propone al PC como un eje articulador que permita e incite a la praxis de las consideraciones pertenecientes a las implicaciones hasta aquí reconocidas desde la NOS y la Epistemología Feminista. Se asumen las posibilidades de articulación que permite el PC relativo a las reflexiones sobre NOS y la epistemología feminista, posibilidades que implican el sometimiento de las valoraciones que surjan a razón de la coherencia entre ideas, teorías y las prácticas que se instituyen en las escuelas. Bajo esta perspectiva, se torna indispensable concebir la praxis como una acción que exige y requiere de un instinto emancipador, desde la perspectiva de las pedagogías críticas. Dicha perspectiva resalta la necesidad de producir propuestas e intervenciones desde la enseñanza y aprendizaje que sitúen nociones equilibradas que fortalezcan la toma consciente de posturas y decisiones.

Con relación a este núcleo temático, cobra relevante lo que dice Muñoz (2013) al mencionar la importancia del PC, en la medida que este posibilita a los sujetos situarse en un momento histórico y consecuentemente comprender el mismo, permitiendo ver y comprender sus dificultades y potencialidades. Es entonces, que pensar críticamente implica adoptar prácticas conscientes que conlleven a la reivindicación de la voluntad y poder así construir nuevas realidades que conduzcan a transformaciones emancipadoras.

Como refuerzo a esta premisa, pero enmarcándose en un contexto propiamente educativo, Maggio (2018) aborda la importancia del PC y las habilidades del siglo XXI. Plantea que para los estudiantes es indispensable desarrollar y perfeccionar el PC porque este les permite leer y actuar en el mundo complejo e incierto que habitan. La autora expone que el análisis de la información y la construcción del conocimiento significativo implica decisiones conscientes que requieren de

bases que beneficia el PC. Además, resalta la necesidad de favorecer acciones que potencian los procesos de PC, tales como el trabajo colectivo debido a que las soluciones a los problemas reales requieren enfoques colaborativos y propuestas para promover el PC en el aula, como problematizar la realidad, analizar cuestiones controversiales y construir alternativas a partir de diferentes perspectivas.

Estos documentos descritos dan cuenta de la importancia de investigar y reflexionar críticamente sobre la relación entre la enseñanza de las ciencias y género. Se sustenta la temática, posible de abordarse desde las reflexiones metacientíficas donde se pone el foco de atención en la relación que se teje entre la NOS, la EF y su pertinente articulación con el PC. Adicionalmente, estos textos evidencian la necesidad y la relevancia de tener presente los riesgos que traen consigo no reflexionar de y sobre ciencias, puesto que ello implica perder de vista el cómo una determinada forma de enseñar los contenidos disciplinares impacta en la formación de concepciones sobre las ciencias (Tamayo, et al., 2010). Es, por tanto, que se vuelve ineludible diseñar e implementar proyectos educativos que pretendan aportar al desarrollo de concepciones equilibradas sobre las ciencias desde el punto de vista de sus aspectos tanto epistémicos como no epistémicos (Acevedo, et al, 2005). Lograr que las intervenciones educativas tengan en consideración los sesgos que producen los estereotipos de género en el desarrollo y legitimación del conocimiento científico, en este caso puntual, se sitúa como una fuente amplia y diversa de posibilidades que frecuentemente se ignora para el desarrollo de habilidades de y sobre ciencia.

En este marco de ideas, la revisión documental ayuda a visualizar un cambio de paradigma referente a los estereotipos de género que sesgan y limitan la participación de las mujeres en la ciencia. No obstante, por su propia naturaleza, se sigue apreciando un gran y lejano horizonte, con nuevos obstáculos y paisajes. Particularmente, se evidencia una insuficiente o casi inexistente gama de propuestas educativas disciplinares que muestren los aportes de mujeres al conocimiento científico, como lo puede ser en retrospectiva propuestas didácticas sobre las leyes de Newton o el principio de Arquímedes. Derivadas de este panorama, surgen preguntas como ¿Por qué resulta complicado encontrar propuestas didácticas en física o astronomía que resalten los aportes de mujeres científicas dentro del marco curricular? ¿Qué potencialidades tiene diseñar secuencias didácticas con enfoque de género a la enseñanza de la física? ¿Cómo llevar preguntas o situaciones detonadoras de discusiones y reflexiones sobre la relación ciencia y género a las clases de física? ¿Cuáles son los desafíos y beneficios de enseñar física desde una perspectiva de género? ¿Cómo

integrar el uso y fortalecimiento del PC a la enseñanza de la física desde una perspectiva de género, incluyendo aportes de mujeres científicas en el currículo? ¿Qué impactos tendría fomentar discusiones sobre ciencia y género en clase de física en las habilidades de PC? Son estas cuestiones las que permiten situar este proyecto de investigación como una propuesta pertinente y que constituye una riqueza en cuestión de material que apoye y fomente reflexiones y discusiones entre docentes en ejercicio y formación necesarias para crear e innovar en la educación científica.

Adicionalmente, se considera importante resaltar algunos referentes que, aunque escapan al rango temporal de la búsqueda, se comprenden con un alto nivel de relevancia para la pertinente construcción conceptual que sustenta la investigación y no han sido descritos aún. Algunos de estos referentes son Matthews (1994) e Izquierdo, et al. (2016) que robustecen la comprensión de significado de NOS; adicionalmente el libro de Blázquez, et al. (2012) que se enmarca con importantes aportes para la fundamentación de epistemología feminista y la Fundación Omar Dengo (2014) que plantea la necesidad de desarrollar las habilidades del siglo XXI, como lo es el PC. Todos estos referentes se abordan a profundidad en el Marco Conceptual que se desarrolla a continuación.

5. Marco Conceptual

El desarrollo del presente apartado se acoge a una propuesta del marco conceptual, y tiene como objetivo develar los diálogos entre los postulados teóricos de los distintos autores y autoras que sirven de fundamento a los intereses de la propuesta investigativa. En otras palabras, la transversalización de los conceptos clave como NOS, EF, PC y las propuestas de enseñanza de la física que se pretenden enmarcadas en armonía con dichos conceptos. En este sentido, el marco conceptual se constituye como la necesaria cimentación para la comprensión teórica de la problemática, su posterior análisis y la pertinente significación en la interpretación de los resultados que permitan respaldar y guiar a los hallazgos y conclusiones del estudio.

En consonancia con dichas intenciones, se aborda una completa fundamentación teórica que incluye la agrupación de los núcleos temáticos: es así como se encuentra organizado en tres apartados. El primero se titula Naturaleza de la Ciencia: la importancia de las metareflexiones de y sobre la ciencia, donde se discuten elementos referidos a la significación del concepto y su trascendencia en la enseñanza de la ciencia. El segundo se denomina El Pensamiento Crítico: una importante habilidad para fortalecer desde la escuela, en este se exponen las razones por las cuales esta habilidad es relevante y favorecedora para la construcción de posturas, y toma consciente de decisiones desde la enseñanza de la ciencia. Finalmente, el tercero se nombra Epistemología Feminista: una ruta para comprender el conocimiento científico con perspectiva de género, el cual muestra cómo los dos anteriores apartados se pueden transversalizar con el propósito de diseñar y transformar dinámicas escolares que posibiliten la reivindicación del rol de la mujer en la ciencia.

En pocas palabras, las relaciones que se establecen entre estos apartados se sitúan gracias a que la NOS permite contemplar los metaconocimientos que están presentes en la ciencia, y asumiendo que la HFC se posiciona como una parte constitutiva de esta, es decir, abarca la comprensión de la ciencia como conocimiento humano. Entendiendo que los asuntos humanos permean a la ciencia, se resalta la EF, porque da lugar e importancia a diferentes cuestiones en relación con el papel del género y cómo esto incide en los diferentes procesos del conocimiento científico y de su trascendencia en la sociedad. Estas relaciones se engloban, fundan y nutren del PC, precisándose en la construcción y refinamiento de las distintas metareflexiones de y sobre ciencia, como al igual de su trascendencia a otros tipos de conocimiento o actividades humanas. A

continuación, se ofrece una extensión sobre la concepción de NOS, PC, EF, sus relaciones y relevancias con el proyecto, respectivamente.

5.1. Naturaleza de la Ciencia: la importancia de las metareflexiones de y sobre la ciencia.

Para entender las cuestiones que permean la ciencia es indispensable concientizarse que sus reflexiones no se reducen meramente al objetivo de comprender el mundo natural, sino que también involucran los asuntos de la realidad sociocultural que originan y transmutan la ciencia. En pocas palabras, esto es hablar de y sobre ciencia, respectivamente. Reflexionar sobre estos asuntos brindan una amplia gama de posibilidades para la comprensión de ciencia con sus leyes, teorías, postulados y métodos, además de cómo todo esto supone una estrecha relación con la sociedad, la cultura, ideologías y demás asuntos humanos. Todo esto se engloba en la llamada NOS, que será abordada con amplitud a continuación.

La NOS es “un conjunto de aspectos que abarca el significado de la ciencia, así como las invenciones conceptuales, métodos, construcción de acuerdos y las características epistemológicas propias del conocimiento científico elaborado” (Ryan y Aikenhead, 1992, citado en Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016, p. 1). En este sentido, la NOS aborda cuestiones como ¿Qué es ciencia? ¿Cómo se construye, válida y divulga el conocimiento científico? ¿Qué relaciones existen entre ciencia y sociedad? ¿Quién puede hacer ciencia?, entre otras. Es en este sentido, que la ciencia se concibe transversal a la historia, la filosofía, la sociología y la psicología de la ciencia, entre otras áreas de conocimiento (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2015).

Un componente significativo en las diversas nociones de NOS enmarca a las cuestiones educativas entorno a la didáctica de las ciencias, debido a los intereses y necesidades de enseñar y aprender ciencia. Esto se pone en evidencia en la medida que incluye reflexiones que no están enfocadas únicamente en los instrumentos, leyes y teorías de la ciencia, sino que también incluyen aspectos sobre historia, filosofía, sociología, economía, política, entre otros asuntos propios de la ciencia. En esta perspectiva, Aduriz-Bravo (2005) propone unas cuestiones esenciales para iniciar reflexiones sobre NOS, las cuales son: ¿Qué relación existe entre realidad y predicación? ¿Cómo cambian las ciencias en el tiempo? ¿Qué distingue a la ciencia de otros tipos de conocimiento?

¿Qué relaciones hay entre la ciencia y otras manifestaciones culturales? ¿Cómo se valida el conocimiento científico?

Para enseñar asuntos relacionados con la NOS, emergen algunas líneas que permiten discutir las cuestiones de esta en contextos escolares. Así, surgen propuestas de autores como García-Carmona (2012) que propone a las reflexiones metacientíficas en dos niveles que se complementan entre sí, denominando los asuntos epistémicos y no epistémicos. Esta propuesta de comprender la NOS como asuntos epistémicos y no epistémicos tienen el fin de identificar y reflexionar sobre las diferentes cuestiones que componen a la ciencia como apoyo para la Educación Científica (EC).

Ilustrativamente, los asuntos epistémicos aluden a la naturaleza de los conocimientos científicos, el origen de la ciencia, la validez de sus productos y los métodos utilizados para llegar a los saberes planteados. Estos se caracterizan por preguntarse sobre qué es la verdad y la objetividad en la ciencia, la relación entre teoría y observación, así como la naturaleza misma de las teorías y leyes científicas, las formas o métodos que las legitiman, qué caracteriza y diferencia al conocimiento científico de otros tipos de conocimiento. En resumen, se encargan de comprender cómo y por qué la ciencia produce conocimientos válidos y confiables. Como complemento, los asuntos no epistémicos se caracterizan por abordar todas las cuestiones sociocientíficas, es decir, se atribuyen al análisis de cómo los desarrollos científicos impactan las dinámicas sociales. Estas reflexiones tienen que ver los asuntos políticos, económicos, culturales o éticos que permean a la ciencia (Acevedo, et al, 2005).

Estos asuntos epistémicos y no epistémicos han sido nombrados por autores como Hodson (2020) como hablar de y sobre ciencias, respectivamente. Además, es de gran importancia resaltar que estos asuntos no son opuestos dentro de las concepciones de ciencia desde la NOS, sino que, al contrario, son asuntos que necesariamente en conjunto constituyen a la ciencia con el fin de comprender sus dinámicas y características que se originan y manifiestan en la esferas natural y sociocultural.

En este sentido, se hace necesario destacar para el presente estudio el papel que juega la HFC en el marco de la didáctica de las ciencias. En particular, se destacan las reflexiones que posibilita, al presentar una visión humanista de las ciencias que habitualmente la propia actividad científica desdibuja, dando lugar a la formación de concepciones de y sobre la ciencia en contextos escolares. Esto es, comprender que la ciencia se ve atravesada no solo por la esfera de las

representaciones del entorno natural, sino que asimismo la implica una necesaria relación con las socioculturales. Estas ideas se reflejan en un conocimiento integral de la ciencia y una superación de la fragmentación de las diferentes áreas del conocimiento dentro y fuera de esta. Este tipo de reflexiones son posibles gracias a que desde la HFC se concibe a la ciencia como una construcción que atiende de las necesidades e intereses de interpretar el mundo. Por esto, la HFC resulta crucial en la formación de interpretaciones y concepciones científicas sobre el mundo, que posibiliten la creación de formas y rutas que solventen las dificultades de las realidades actuales y futuras de los sujetos (Izquierdo, et al., 2016). Es por ello que se resalta la importancia de la comprensión histórica de la ciencia por parte de profesores y estudiantes, debido a sus papeles en la significación de la ciencia que poseen las sociedades.

Consecuentemente, este estudio reconoce la necesidad de realizar reflexiones sobre la Historia de la Ciencia (HC) en el marco de la EC en cada uno de los niveles educativos. Esta perspectiva en la enseñanza de la ciencia no debe limitarse a mostrar únicamente la evolución histórica de los diferentes conocimientos científicos a modo de línea de tiempo, debido a que esta visión se muestra plagada de sesgos y puede resultar aburrido y poco efectivo para aprender ciencia. Por el contrario, se sugiere que la enseñanza de los contenidos científicos no imponga una interpretación preestablecida de dichos conocimientos, indiferente a las distintas realidades de cada estudiante, sino que se presenten de manera que muestren la utilidad y relevancia para comprender y actuar el mundo desde sus contextos particulares. De este modo, se presenta que la HFC en la EC favorece el aprender ciencia de manera contextualizada y es desde esta perspectiva, que se proponen estrategias didácticas que estimulen, desafíen y destaquen reflexiones de y sobre la ciencia, es decir, de NOS. Es en esta relación, que se es indispensable valorar las realidades de quien aprende ciencias, las cuales determinan, en primera instancia, el valor y el significado que le da a lo que aprende.

En este orden de consideraciones, Matthews (1994) señala que la HFC ha sido un campo sumamente importante para la comprensión de la naturaleza y el desarrollo del conocimiento científico a lo largo del tiempo. Ello es debido a que la inclusión de estas dos formas, histórica y filosófica, de entender la ciencia es crucial para enriquecer la EC y beneficiar las formas en como aprenden los y las estudiantes, además de su importancia y trascendencia cultural a través de rol como ciudadanía. Es así como, la visión que propone nos abre a una visión más crítica y profunda, permitiendo que el estudiantado comprenda no solo la ciencia y sus conceptos, sino también el

contexto en el que surgieron y su impacto en la sociedad a lo largo de la historia que, de manera directa o indirecta, afecta sus vidas. En el mismo sentido, Izquierdo, et al. (2016) destacan la necesidad de explicar historias científicas contextualizadas, es decir, comprender la HC a través del apoyo, por ejemplo, de la literatura, películas, dramatizaciones y la recreación de distintos experimentos históricos, entre otros.

Proporcionar contextos posibilita que emerjan, se reconozcan y se muestren conocimientos desarrollados por colectivos históricamente segregados o invisibilizados, aunque fueran significativos para la ciencia. Tal es el caso de las mujeres en la ciencia, como, por ejemplo, Sophie de Germain (1776-1831), quien planteó valiosos aportes a la teoría de la elasticidad. Propuso en 1811 que la fuerza de elasticidad en un punto de la superficie es proporcional a la suma de las curvaturas principales en dicho punto y matematizó el concepto de forma de una superficie y el de deformación, construyendo un procedimiento integral para definir la curvatura en el espacio. A pesar de que su trabajo inicial fue considerado incompleto e incorrecto por la comunidad científica, continuó investigando, defendió su hipótesis, atacó con argumentos sólidos las teorías existentes en ese momento y en 1813 presentó sus aportes formalmente, recibiendo una mención de honor (Guijarro de Mata-García, 2015).

Lo dicho, se engloba en el concepto de recontextualización, propuesto desde la HFC para garantizar una comunicación pertinente y común de los saberes y episodios histórico-científicos en los diferentes contextos educativos tanto dentro como fuera de la escuela (Ayala, 2008). La recontextualización pone el foco de atención en qué y a quién, cómo y con qué objetivo se está enseñando un saber, pues nada puede ser transferido a una cultura sin que sea transformada por ella (Arcà, Mazzoli y Guidoni, 1990). Como resultado, el diseño e implementación de propuestas educativas que presenten adecuadas recontextualizaciones suscita en el estudiantado herramientas para reconocer la importancia de la EC y reclamarla, dando sentido al mundo que le rodea, valorando la actividad científica y apropiándose de sus procesos de aprendizaje de y sobre ciencia. De ahí que la recontextualización se configure como un aspecto esencial en la enseñanza de los conocimientos científicos.

Congruentemente, se plantea que la HC, de la cual se parte para la recontextualización, es interpretativa y por ello exige un trato responsable y riguroso de la información para su posterior transformación y representación en las narrativas propias de los contextos escolares. Teniendo presente esto, Izquierdo, et al. (2016) resalta que, dependiendo de la concepción que se tenga sobre

la dinámica del desarrollo científico, hay diferentes enfoques de la HC, tales como: a) Anacrónica, la cual alude a la interpretación de la historia a la luz de la construcción conceptual actual; b) Hagiográfica o Lineal, en donde se propone un conocimiento científico entorno a un personaje en específico y llega a considerarlo como un héroe científico; c) Diacrónica, en este tipo se presentan los hechos y eventos más relevantes de manera cronológica; d) Recurrente o Sancionada, presenta una historia de la ciencia positiva y determinista evidenciando únicamente los hechos y procesos científicos exitosos en donde no hay espacio para los errores; y e) Sociocultural, en la que se reconoce el trabajo en equipo, la influencia de los contextos y reconoce tanto aciertos como desaciertos en la construcción de la ciencia.

Usualmente, en el contexto escolar, existe un reiterado y predominante uso de las historias hagiográficas y diacrónicas de la ciencia, mostrando y reproduciendo una idea sobre ciencia como verdad absoluta, libre de errores y propia únicamente de personas superdotadas. Tales concepciones, ocultan las características socioculturales de la ciencia, dejando de lado asuntos esenciales para la construcción de las metareflexiones y su importancia, como ya ha sido mencionado. Por ello, se plantea que la recontextualización sociocultural de la HC se sitúa con gran potencial en la enseñanza de la ciencia. Es así, aspecto por el cual cobra gran relevancia en las propuestas y estrategias que se plantean en esta investigación para alcanzar los objetivos propuestos.

En este marco de ideas, se concibe que los contenidos sobre ciencia que se enseñan en la escuela se ponen a disposición de los y las estudiantes y sus intervenciones en las realidades que habitan, lo cual se constituye en el sostenimiento o transformación de dichas realidades. Se asume que la escuela es un dispositivo poderoso e importante para la cultura, la cual puede transmitir discursos e ideologías que se implantan en las percepciones del mundo de cada ciudadano (Martínez, 2014), por lo cual, no es ajena a las reflexiones de NOS. Se retoma, entonces, a la ciencia y su enclave a las interpretaciones de las esferas natural y sociocultural, debido a que está en evidencia en todo lo que rodea a los sujetos, puesto que la ciencia es un asunto en el que todos están inmersos y no solo quienes se dedican profesionalmente a ella. En otras palabras, la ciencia es y está en la misma naturaleza, origina la cultura del sujeto, le invita a tomar decisiones, le guía a cuestionar el qué, porqué y cómo de los fenómenos y a reflexionar sobre cómo percibe e interviene el entorno que le rodea (Rivero, A & Wamba, A. 2011). Tomando estas consideraciones, en esta investigación se reconoce la existencia de la ciencia escolar, como aquellas que pretendes

simular el trabajo y las dinámicas científicas con el objetivo de mostrar cómo son los mecanismos y procesos propios de la ciencia.

En el ámbito de dicha ciencia escolar se contemplan, de manera puntual, los asuntos sobre la experimentación y la práctica científica. Así, se entablan relaciones desde la HFC, que favorecen la adopción de posturas más flexibles entre la teoría y el experimento, además de la consideración de aspectos filosóficos como la observación, la objetividad y la verdad en la ciencia. Se destaca, entonces, lo fundamental de comprender la actividad experimental como “un procedimiento complejo, en el que interactúan estrechamente acciones y consideraciones, instrumentos y teorías, espacios y materiales, actores y cuestiones” (Steinle, 2002, p. 210). Como respuesta, se aprecian las propuestas de enseñanza del Aprendizaje Basado en Prácticas Científicas o también llamadas Prácticas Epistémicas, comprendidas como las formas socioculturalmente determinadas y estandarizadas que emplea la comunidad científica para proponer, comunicar, evaluar y legitimar el conocimiento (Kelly, 2008). Consecuentemente, posibilitan la adquisición de capacidades para realizar procesos de manera crítica y reflexiva y su posterior evaluación permanente en la construcción del conocimiento científico.

Bajo esta premisa, autores como Romero, et al. (2016) aportan con su análisis sobre los programas de formación docente, reclamando la necesidad de reflexionar acerca de la relación entre la teoría y la experimentación en las clases de física. De manera puntual, resultan que en la EC predominan las perspectivas que privilegian lo teórico sobre lo experimental y no un equilibrio entre ellas, en donde se muestren procesos más realistas de cómo se construyen los conocimientos científicos en retrospectiva desde contextos históricos. Por ello, destacan la importancia en la construcción del conocimiento relativo al el rol del instrumento en la construcción del conocimiento científico, siendo este un medio de registro y constatación de datos del fenómeno pero que depende de las concepciones y necesidades por las cuales se elabora dicho dispositivo. Entonces, se plantea la necesidad de una perspectiva de la experimentación que incorpore reflexiones acerca de la NOS, que pongan en evidencia los asuntos epistémicos y no epistémicos propios de la experimentación. Asimismo, los autores destacan la importancia de familiarizar las tradiciones correspondientes a la cultura científica y su tendencia al cambio y modificaciones, promoviendo una postura crítica y activa relacionada a la ciencia y su relación con la historia y la sociedad.

Atendiendo a la problemática que se plantea enmarcada en la NOS, se proponen secuencias didácticas basadas en la experimentación y las prácticas científicas que atienden a las características de la NOS descritas previamente. De manera puntual, las propuestas pretenden remarcar la importancia de los aportes de científicas como Émilie de Châtelet y Cecilia Payne, resaltando sus contextos particulares. Para el diseño de dichas secuencias didácticas se recurrió a la propuesta de García-Carmona (2012) de las secuencias didácticas basadas en prácticas científicas, procurando mostrar los diferentes procesos epistémicos y no epistémicos que caracterizaron las dinámicas para construir y legitimar los aportes de estas dos científicas. Dichas secuencias didácticas serán abordadas en el tercer apartado de este marco conceptual y de manera más extensa y puntual en el marco metodológico.

En resumen, la NOS posibilita ilustrar y comprender la complejidad de las prácticas científicas, a través de metareflexiones, en donde se reflexionan asuntos como lo es el rol de las mujeres en la ciencia (Vallverdú, e Izquierdo, 2010). Se reconoce que no hay un total consenso sobre qué es NOS y en cómo potencializa y valora las alternativas más adecuadas en y para la enseñanza de la ciencia. A pesar de ello, se ha evidenciado que la EC basadas en reflexiones metadisciplinarias constituyen una rica y amplia gama de posibilidades que promueven y estimulan el aprendizaje y la curiosidad por comprender el mundo, a la vez que orientan la toma de decisiones y favorece el pensamiento crítico. Dichas habilidades todas necesarias y pertinentes para afrontar los desafíos que trae consigo el siglo XXI, como será abordado a continuación.

5.2. El pensamiento crítico: una importante habilidad para fortalecer desde la escuela

Los nuevos tiempos traen consigo nuevos retos y la ruta más adecuada para encarar dichos retos son las acciones críticas. En la actualidad se sitúan diferentes sociedades alrededor del mundo en diversos estados de crisis, los cuales van desde apuros económicos, escasez de recursos o alimentos, problemáticas sociales como la segregación, los crecientes desafíos de la salud mental, entre otras muchas. Estas crisis han sido ampliamente analizadas y expuestas desde la lente de las ciencias sociales y humanas, retomando autores como Foucault (2009), Bauman (2005) o Freire (1970, 1990). Desde estas perspectivas, se exponen las distintas situaciones por las cuales los sujetos se ven atravesados y atraviesan, en su constitución, creándose y normalizándose desde las

distintas instituciones de poder, con el único propósito de atender a las exigencias y necesidades de sus propios tiempos y contextos. Es en este marco de ideas, que se evidencian las complejas relaciones humanas que someten y vulneran la construcción de identidades, dando como resultado sujetos dóciles e indiferentes a los sucesos y decisiones que afectan sus vidas.

Como lo han mencionado Runge y Muñoz (2010), las crisis y aporías modernas pueden entenderse y transformarse en posibilidades de emancipación a través de la confrontación y reivindicación de la modernidad a una realidad con sujetos autocríticos y reflexivos. Es en esta ruta, que se esclarecen las potencialidades de sujetos críticos capaces “de significar dichas crisis como oportunidad de cambio, como posibilidad de decisión, y no como desesperanza, vacuidad o desasosiego” (p. 114). Entonces, el pensamiento crítico permite una toma consciente de decisiones, centraliza el respeto y el reconocimiento de la condición del ser humano como ser social, trabajando en pro del bienestar y la calidad de vida.

En virtud de esto, en este proyecto de investigación se pretende examinar y evidenciar las potencialidades del pensamiento crítico desde las diferentes posibilidades y rutas de la NOS. Los Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales (MEN, 1998), por su parte, posicionan a la enseñanza de las ciencias como fuente promotora de reflexiones críticas pertinentes y contextualizadas para cada estudiante, equipándolos para que comprendan e intervengan apropiadamente sus realidades. En otros términos, los lineamientos pueden interpretarse como una propuesta que incentiva y fortalece el pensamiento crítico en los y las estudiantes, es decir, en los ciudadanos del mundo. Sin embargo, esta propuesta se constituye en un reto en sí misma no solo para el estudiantado, sino también para los y las docentes, quienes son responsables de diseñar e implementar propuestas educativas que estimulen y refuercen el pensamiento crítico.

De manera puntual y para efectos del estudio, el pensamiento crítico se asume desde la postura que propone la Fundación Omar Dengo (2014). Allí se plantea, de manera general, que la enseñanza actual debe fortalecer en el estudiantado las competencias necesarias para afrontar realidades del siglo XXI, avances y desafíos propios de la contemporaneidad. Las competencias del siglo XXI se definen como un conjunto integrado por habilidades, conocimientos y actitudes imperativas para enfrentar con éxito los desafíos y demandas de la era actual. Estas competencias pretenden trascender a la mera adquisición de información y, en cambio, contemplan praxis apoyadas de capacidades como la creatividad, la resolución de problemas, la colaboración, la comunicación efectiva, el manejo de la tecnología, la responsabilidad personal y social y el

pensamiento crítico, como protagonista para la presente investigación. Las competencias se proyectan como apoyo esencial en la preparación de los individuos para adaptarse al constante cambio del entorno, procurando fomentar la capacidad de aprender incesantemente, trabajar de manera efectiva colaborativamente y contribuir positivamente a la sociedad y al mundo laboral. Por lo dicho, la presente investigación asume esta postura sobre las competencias del siglo XXI.

Complementariamente, de manera específica, Maggio (2018) sugiere una clasificación de habilidades atribuidas a las competencias del siglo XXI. Es en este sentido que postula en primer lugar, las habilidades para la vida y la carrera, las cuales tienen un fuerte componente socioemocional que permite, a quienes las desarrollan, sondear la diversidad y complejidad de los ambientes propios del entorno actual; entre ellas se encuentran: flexibilidad y adaptabilidad, iniciativa e independencia, habilidades sociales e interculturales, productividad, liderazgo y responsabilidad. Seguidamente, plantea las habilidades vinculadas a la información, los medios y la tecnología, que son propias de los ambientes actuales debido, precisamente, al fácil acceso a la tecnología y a la información; la principal habilidad en esta categoría es la alfabetización, que puede desarrollarse a nivel informático, mediático o digital. Y, por último, se plantean las habilidades de aprendizaje e innovación, que preparan al estudiante para la creciente dificultad en la vida y el trabajo; suelen ser las más referidas a la hora de hablar de este tipo de competencias, siendo nombradas como las 4C (creatividad e innovación, pensamiento crítico y resolución de problemas, comunicación y colaboración).

Como ya se ha dicho, el mundo moderno exige reflexiones que encaren las necesidades y realidades actuales con el objetivo de solventar las dificultades y crisis que se presentan. Por lo anterior, se asume que genuinamente es menester adquirir las competencias del siglo XXI, y con ellas, las correspondientes habilidades. Para ello, el estudio propone, de manera especial, que se diseñen e implementen propuestas educativas que estimulen y potencien dichas competencias y habilidades, pretendiendo que los conocimientos que se enseñan y se aprendan sean útiles para los y las estudiantes y puedan extrapolarse a las dinámicas cotidianas de la ciudadanía. Prudentemente, se enfatiza en el pensamiento crítico, en tanto este posibilita y afianza el desarrollo de las demás competencias y habilidades requeridas para el siglo XXI.

En específico, el pensamiento crítico ha sido indispensable a lo largo de la historia del ser humano para la evolución y organización misma de la sociedad y del conocimiento. Ilustrativamente, retomando el ejemplo de Sophie de Germain, ella fue una de las científicas que

demonstró un pensamiento crítico excepcional en su trabajo. A pesar de enfrentar críticas iniciales y ser considerada incorrecta en sus primeras propuestas, Sophie de Germain perseveró y continuó investigando, refinando sus ideas y presentando nuevas hipótesis respaldadas por argumentos sólidos. Su capacidad para cuestionar las teorías existentes y proponer nuevas perspectivas en un campo dominado por hombres refleja su pensamiento crítico agudo, sus habilidades comunicativas y su determinación para desafiar las normas establecidas. Ella no se conformó con aceptar el *statu quo*, se esforzó por desarrollar ideas innovadoras y fundamentadas en la evidencia, lo que la convierte en un ejemplo notable de pensamiento crítico en la HC.

Otro hecho que refleja el gran valor de las praxis críticas es la consolidación los diversos movimientos sociales fundamentales en la promoción de la justicia y la equidad, como el feminismo, el movimiento de derechos civiles, entre otros, todos originados desde el análisis crítico para identificar y combatir abusos y desigualdades en la sociedad. Por ello, se considera que la comprensión crítica de la realidad complementa las demás competencias y habilidades, permitiendo refinar la resolución de problemas, resultante del análisis valorativo, la creatividad, la innovación, la comunicación y colaboración. Por ende, es vital incentivar el pensamiento crítico desde la educación, en tanto su dominio fomenta la capacidad de plantear propuestas de intervención y transformación a problemáticas que los y las estudiantes afrontas en sus actuales realidades. Retomando las propuestas de significación del pensamiento crítico de la Fundación Omar Dengo (2014), donde señala que:

El pensamiento crítico consiste en la capacidad de interpretar, analizar, evaluar, hacer inferencias, explicar y clarificar significados. Está basado en el razonamiento lógico, la capacidad de trabajar con conceptos, la conciencia de las perspectivas y puntos de vista propios y ajenos, y el pensamiento sistémico. Requiere un desarrollo progresivo del conocimiento sobre el propio pensamiento y de las estrategias efectivas para pensar. (p. 44).

Con una disposición similar, Facione (2007) propone que el pensamiento crítico se enmarca en el desarrollo y refinamiento de las habilidades cognitivas. Las aptitudes cognitivas y disposiciones de un sujeto con pensamiento crítico son: 1) La interpretación, relativa a la comprensión, significación y comunicación acertada de problemáticas, experiencias y propuestas. 2) El análisis, que implica la capacidad de identificar y valorar las formas de manifestación de experiencias e ideas a través de la comparación y el relacionamiento de estas. 3) La evaluación, que se refiere a la búsqueda de la credibilidad y coherencia de entre experiencias e ideas. 4) La

inferencia, que significa, según el autor “identificar y asegurar los elementos necesarios para sacar conclusiones razonables; (...) incluye cuestionar la evidencia, proponer alternativas, y sacar conclusiones” (p. 5). 5) La explicación, que involucra la capacidad de hilvanar las reflexiones de manera asertiva y coherente en favor de la comunicación de estas. Y 6) la autorregulación, que se refiere a las reflexiones sobre los procesos cognitivos propios que implica el cuestionamiento, validación y corrección del razonamiento particular; esta habilidad es lo que se ha nombrado como “metacognición”.

En líneas generales, el desarrollo de esta habilidad tiene el potencial de proporcionar a los individuos diferentes herramientas para la comprensión y habitar, así, la realidad que le subyace, constituida por una realidad natural y una realidad social (Merleau-Ponty, 1945). Comprendiendo la realidad natural como aquella que se forma desde el estudio de los fenómenos naturales como la anatomía, la termodinámica o los compuestos químicos; mientras la realidad social se configura a razón de la esfera de lo simbólico, dando lugar a tradiciones e ideologías como el positivismo, el empirismo o el racionalismo, el liberalismo, el socialismo o el feminismo, respectivamente. De esta manera, se establece al pensamiento crítico como un núcleo temático indispensable para abordar la problemática descrita en el planteamiento del presente proyecto de investigación.

En este sentido, el estudio propone el diseño y la implementación de las secuencias didácticas a través de las cuales se potencialice y se estimule el pensamiento crítico de las estudiantes. De manera específica, se plantea que las metodologías y las recontextualizaciones de los contenidos elegidos sean oportunas, para que se originen iniciativas en el estudiantado que procure comprender y reivindicar críticamente el rol de la mujer en la ciencia desde la perspectiva de la NOS. Esta relación, se proyecta como un nicho abundante y necesario, pero poco explorado, con relación a la NOS, el pensamiento crítico y la Epistemología, que se notará a continuación.

5.3. Epistemología Feminista: una ruta para comprender el conocimiento científico con perspectiva de género

La epistemología, referida en palabras de García-Carmona (2012) y Blázquez (2012), es una teoría sobre la generación de conocimiento, su contexto y clasificación. Esta se divide en los asuntos epistémicos de la ciencia, en los cuales se hace alusión, por ejemplo, al conocimiento desde

el punto de vista conceptual, la teoría o el experimento, y los asuntos no epistémicos, que muestran a la ciencia desde la perspectiva de las dinámicas socioculturales, como se ha descrito anteriormente. En este sentido, para desarrollar ideas y reflexiones críticas a través de la enseñanza de la ciencia mediada por la NOS, es necesario encaminar el sustento conceptual de esta investigación hacia el estudio de la epistemología.

En atención a los objetivos del presente estudio, la EF emergió como un enfoque teórico fundamental que desafía las concepciones tradicionales del conocimiento científico y promueve una comprensión más inclusiva y crítica de la ciencia. La relevancia de la EF en el contexto de la enseñanza de la ciencia radica en su capacidad para proporcionar un marco conceptual que reta a los estereotipos de género, revela sesgos tanto implícitos como explícitos en la ciencia y su contexto fomentando la inclusión de múltiples perspectivas en el proceso de la ciencia y su enseñanza. Es menester entonces, al interior de este núcleo temático en particular, hablar de una EF de la Ciencia, como la relación de la epistemología y el feminismo aludiendo fundamentalmente a los sesgos de género que trae de la mano el saber científico y su historia (Blázquez, 2012).

En una línea similar, Forde (2014) lideró un estudio donde se analizó la pertinencia de una epistemología género-sensible en la formulación de políticas públicas en educación, logrando evidenciar la influencia de los roles de género en la elección y la proposición de planes de estudio, políticas y modelos pedagógicos. Además, propone que maestros y alumnos adopten posiciones críticas que favorezcan la diversidad y polemiquen los papeles hegemónicos que históricamente han sido relacionados a razón del género.

En virtud de esto, se retoma lo expuesto en el Consenso de Santo Domingo de 2013, donde la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció unos compromisos para la Agenda Regional de Género. Entre ellos, existe un apartado entero referido a las necesidades de alfabetizar en el saber científico y tecnológico a mujeres y niñas (Acuerdo no. 46 del informe de Naciones Unidas, 2021). Este estudio pone el foco de atención en uno de los asuntos sobre cómo la ciencia y el rol de la mujer en ella es abordada desde la perspectiva de la HFC. En particular, al interior de este contexto conceptual es necesario hablar entonces de la EF, en tanto que las narrativas usuales de la HC se presentan con sesgos ampliamente extendidos que traen consigo la subrepresentación de la mujer, tal y como se resaltó en el primer apartado de este capítulo. Para ilustrar el concepto de EF (Blázquez, 2012), se hace referencia a la relación entre la epistemología y el feminismo, destacando los sesgos de género inherentes a dicha epistemología e historia. Tales sesgos, como la

masculinización de las ciencias naturales y exactas, particularmente, vinculan al hombre con la razón como característica esencial para la ciencia, en contraparte de la mujer, asociando su condición con la afectividad, que no tiene cabida en la ciencia. En esta suerte, los sesgos de género se han consolidado en los discursos de divulgación de la ciencia en la HC y en todo el mundo, excluyendo el rol de la mujer en los desarrollos científicos o negándole el reconocimiento de los aportes científicos o la participación de mujeres. Dicho contexto, como lo sitúa la autora, se engloba en la epistemología de la ciencia desde el punto de vista feminista, la cual permite comprender y reflexionar críticamente sobre el rol de las mujeres en la HC y poner la vista hacia caminos y acciones transformadoras que contribuyan a la igualdad en los procesos de construcción de conocimiento científico.

Es en ese orden de ideas, que se propone enfocar la NOS, a través del uso de la HC, pero desde el punto de vista feminista, “abordando la manera en que el género influye en las concepciones del conocimiento, en la persona que conoce y en las prácticas de investigar, preguntar y justificar” (Blázquez, 2012, p. 22). De esta forma, se reconoce el potencial de dicha perspectiva para contribuir a la comprensión de las prácticas y procesos de construcción de conocimiento y pensamiento científico. Asimismo, se comprende su implicación en las creencias, intereses sociales, culturales y políticos de una perspectiva androcéntrica dominante, reconociendo que se ha puesto en desventaja a las mujeres, negándoles tener un papel epistémico en la HC.

En términos generales, la EF busca “hacer evidente cómo el producto del trabajo científico, supuestamente neutral posee un sesgo sexista” (Fernández, 2012, p. 88), con el objetivo de generar reflexiones críticas y poder así construir estrategias que pretendan la equidad de género en la ciencia. Consecuentemente, este estudio se dirige hacia el análisis de los efectos de la enseñanza de la física desde la perspectiva de la EF en el desarrollo del pensamiento crítico en los contextos educativos.

Complementariamente, se reconoce que la enseñanza de la ciencia desde la perspectiva de la EF posee potencialidades en la fundamentación y favorecimiento del pensamiento crítico, esto debido a que promueve cuestionamientos y reflexiones sobre cómo se construye el conocimiento y cómo los sesgos de género se hacen presentes en la ciencia. Es en este sentido, que integrar perspectivas de EF en el aula, invita a debatir sobre las estructuras de poder y las narrativas dominantes en la producción del conocimiento científico. Todo esto son características que permite el desarrollo y refinamiento de habilidades analíticas y argumentativas, así como una conciencia y

sensibilidad en la comprensión de las influencias de los contextos sociales en la ciencia. Además, de comprender cómo, a través de estas reflexiones, la ciudadanía puede apropiarse y llevar a cabo acciones críticas que conduzcan a un cambio en pro de la equidad de género. En última instancia, una EC apoyada de las perspectivas que ofrece la EF puede empoderar a los y, especialmente, las estudiantes, pues contribuye a dar pertinencia y coherencia de los contenidos científicos que se les está enseñando con sus realidades e ideales. A la vez que favorece de identificación de referentes que apoyen en la construcción de identidades en relación con el ser, hacer y entender ciencia.

Añadido a esto, es relevante señalar que comprender y reflexionar críticamente sobre los sesgos de género en la ciencia estimula y brinda ambientes apropiados para fortalecer la innovación y la creatividad en los procesos de enseñanza, aprendizaje y creación científica. Además, influye en el empoderamiento de mujeres y niñas, favoreciéndolas al desafiar las barreras y estereotipos, lo cual puede motivar el aprendizaje de la ciencia, incluso influyendo a su profesionalización en carreras científicas. De la misma manera, estas reflexiones críticas impactan en la toma de decisiones informadas, fortalece las relaciones interpersonales para que sean más equitativas y respetuosas. Todo esto implica una contribución a la sociedad, al promover la equidad de género y la justicia social, puesto que, a través de la comprensión crítica de los sesgos de género en la ciencia, las estudiantes pueden contribuir a la construcción de una sociedad más inclusiva, diversa y justa para todas las personas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se concibe entonces que es relevante hablar de y sobre ciencia desde una perspectiva de género, que promueva reflexiones y reivindique el rol de la mujer en la ciencia para que los ciudadanos inicien procesos de aprendizaje donde se reconozcan en ellos y funden bases para sus configuraciones de identidad. Dicho esto, se pretende en esta investigación diseñar e implementar propuestas didácticas que busquen posicionar en las aulas de ciencias, en particular de física, conocimientos científicos aportados por mujeres a lo largo de la HC, buscando suscitar reflexiones sobre la representación de la mujer en la ciencia. Todo esto con la intención de generar un impacto entre los contenidos que aprenden en la escuela y los mundos de la vida de los y las estudiantes.

En este sentido, se plantean dos propuestas pedagógicas, enmarcadas en los principios de secuencias didácticas basadas en prácticas científicas, discutidas anteriormente, que abordan contenidos curriculares del área de física en la escuela. Las propuestas se sostienen bajo la premisa de la NOS, lo que permite comprender tales saberes desde los aspectos teóricos y experimentales

con su debida rigurosidad y formalismo en conjunto y su debida recontextualización. En esta línea, estas secuencias didácticas abordan el concepto de energía potencial y los fenómenos de la luz, los cuales se enmarcan en la representación de los aportes de las científicas Émilie du Châtelet y Cecilia Payne, respectivamente.

De manera puntual, Émilie du Châtelet nació un 17 de diciembre en 1706. Fue una matemática y filósofa natural francesa, llegando a ser una figura destacada en el siglo XVIII, por su crítica al método científico propuesto por Newton y los pensadores de la época, que en su mayoría eran hombres, y por proponer un nuevo enfoque hipotético-deductivo en la investigación científica. Sus críticas se referían a las divergencias en el uso de las matemáticas y en la opinión sobre las hipótesis, así que desarrolló un método propio que combinaba la rigurosidad matemática a partir de hipótesis para explicar fenómenos naturales. Este método enfatiza la importancia de sopesar todas las consecuencias posibles de las hipótesis y contrastarlas con experimentos para llegar a las verdades científicas, el cual se sigue usando hoy en día (Camesella, 2022).

Particularmente, Émilie du Châtelet hizo importantes contribuciones a la teoría de la conservación de la energía y la energía potencial a través de sus estudios matemáticos y experimentales, aportes respecto a los cuales se sustenta la primera secuencia didáctica diseñada para la investigación. Respecto a la conservación de la energía, contribuyó significativamente a su comprensión al modelar matemáticamente de manera precisa este principio. Su enfoque matemático riguroso, que atendió a las observaciones que resultaban de sus austeros experimentos, le permitió demostrar cómo la energía se conserva en diferentes sistemas físicos. Desde este enfoque, pudo comprender descuidos en la coherencia entre las ecuaciones y la realidad experimental respecto a la energía potencial propuestas por Isaac Newton, su contemporáneo, al realizar la traducción de los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687) del inglés al francés (Silva, 2014), como se muestra en la **Figura 2**.

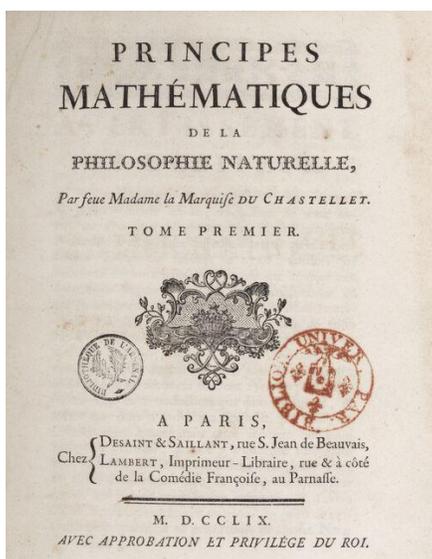
Luego de un arduo análisis de este posible descuido de Newton, Émilie du Châtelet realizó bastantes experimentos y análisis matemáticos para comprender y definir la energía potencial en el contexto de la mecánica. Sus astutos experimentos, como el estudio de la caída de objetos sobre diferentes superficies y la medición de la profundidad de penetración en un material, le permitieron establecer relaciones entre la energía potencial y otros parámetros físicos, como el marco de referencia, la altura y la velocidad. Estas consideraciones le brindaron la información necesaria para construir la fórmula matemática con la que se puede conocer la energía potencial de un

sistema, denominando la famosa $Ep = mgh$, donde Ep es la energía potencial, m es la masa, g es la gravedad y h es la altura del sistema respecto al nivel de referencia. Además, encontró la relación entre esta Ep y la energía cinética, mediante la ecuación $Ec = mv^2$. Así, pudo mostrar la necesaria relación entre la energía potencial y la energía cinética para la conservación de la energía en sistemas físicos (Slavov, 2020).

Una vez du Châtelet concretó sus aportes o correcciones al postulado de Newton, decidió publicar su traducción de los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural con sus consideraciones. Este acto supuso una gran controversia en la comunidad científica de la época, pues no solo se trataba de una oposición a las ideas del gran e incuestionable Newton, sino que también hayan provenido de una mujer (Silva, 2014). Ciertamente, en el contexto al que pertenecía, du Châtelet tuvo que afrontar diversos obstáculos para que consideraran sus aportes y la comunidad competente de su tiempo realizara una responsable revisión antes de descartar sus ideas científicas. Así, du Châtelet falleció el 10 de septiembre de 1747 sin que se le diera el debido mérito por sus contribuciones a la ciencia y fue mucho tiempo después que se le dio la razón. A pesar de que en la actualidad se reconozca su trabajo, en la EC se sigue atribuyendo la comprensión conceptual y matemática de la energía potencial y la conservación de la energía a Newton, invisibilizando su nombre y su rol en el desarrollo de estos conocimientos científicos.

Figura 2

Portada de Principios Matemáticos de la Filosofía Natural.



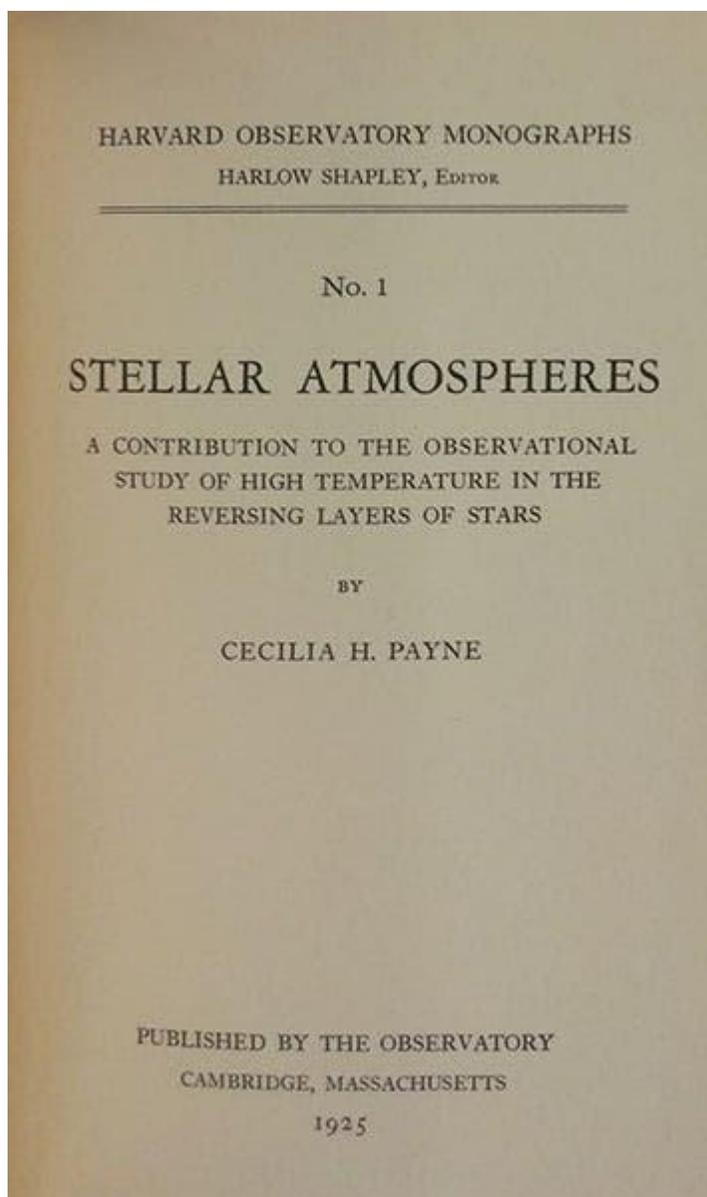
Nota. Portada del libro traducido por Émilie du Chatelet de los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural de Isaac Newton. Rescatada de Le Blog Gallica.

Por otra parte, la segunda secuencia didáctica que propone esta investigación presenta a Cecilia Helena Payne-Gaposchkin, quien fue una destacada astrónoma del siglo XX, conocida por su trabajo pionero en espectroscopía estelar. Nacida el 10 de mayo de 1900 en Reino Unido, a pesar de que se formó en Cambridge en ciencias (botánica, física y química) y obtuvo el reconocimiento por ser de los mejores tres estudiantes del programa, cuando terminó la carrera en 1922 no obtuvo el título universitario, pues esta institución no otorgó títulos a mujeres sino hasta. Aunque tenía grandes habilidades en las diferentes ciencias, Payne se apasionó profundamente por la astronomía, pero no se le presentaban buenas oportunidades académicas que le brindara estabilidad económica en Reino Unido. Por tal razón, decidió migrar a los Estados Unidos buscando nuevos y mejores horizontes, pues Harlow Shapley le concedió una beca para doctorarse en el Observatorio de la Universidad de Harvard. Allí se dedicó a la docencia y adelantó importantes estudios en astronomía al trabajar como una de “las calculadoras de las estrellas”, donde realizó investigaciones revolucionarias en el campo de la astronomía como en la comprensión de la evolución de las estrellas (Wayman, 2002 y Trimble, 2022).

En este contexto, Payne adelantó su tesis doctoral titulada *Atmósferas Estelares: Una contribución al estudio observacional de altas temperaturas en las capas invertidas de estrellas*, publicada en 1925 (ver **Figura 3**). En tal estudio, mostró que las estrellas están compuestas principalmente por hidrógeno y helio, además de ampliar la clasificación espectral de las estrellas, pudiendo calcular la gravedad superficial, las temperaturas, la presión, entre otras características estelares. Para lograr esto, Payne usó métodos de espectroscopía, estudiando fuertemente las líneas de von Fraunhofer, las cuales son líneas espectrales que se muestran como unas bandas oscuras al observar mediante un instrumento óptico el espectro de la luz solar.

Figura 3

Portada de Stellar Atmospheres, A Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars.



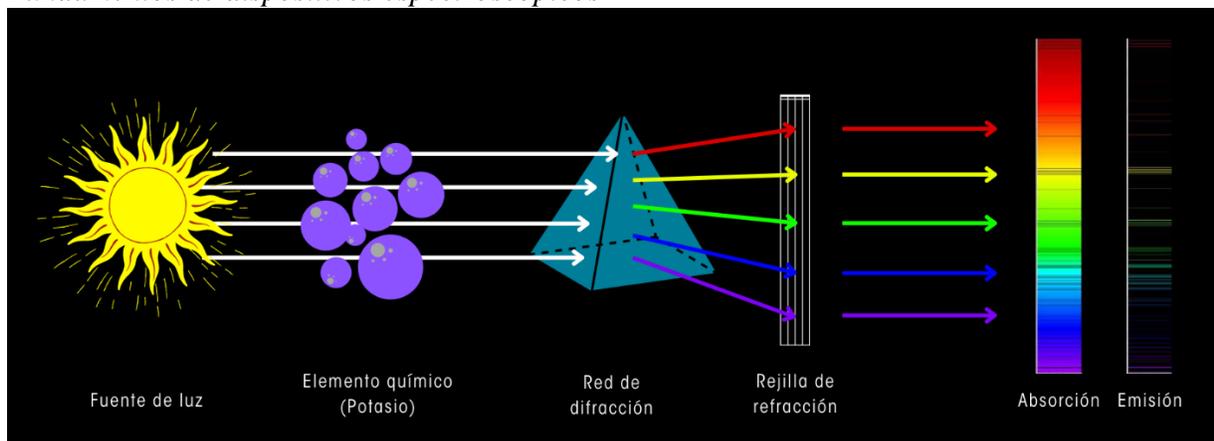
Nota. Portada original de la tesis doctoral de Cecilia Payne. Figura recuperada de Linda Hall Library.

Estas líneas fueron por primera vez estudiadas por Joseph von Fraunhofer en el siglo XVII y posteriormente, en 1802, William Wollaston las sistematizó cuidadosamente para medir la longitud de onda de cada banda en el espectro, llegando a registrar 570 líneas. Luego, en ese mismo siglo, en la década de los 50s, Gustav Kirchhoff inventó formalmente el espectroscopio y del lado de Robert Bunsen lograron determinar que cada elemento químico tiene un espectro de absorción y uno de emisión (Payne, 1925 y Banerjee, 2021).

En este sentido, se comprende que los espectros de emisión y de absorción se producen por la refracción y dispersión de la luz. Es decir, cuando la luz pasa por un dispositivo con un objeto dispersor, como lo puede ser un prisma, y después esta luz dispersada atraviesa una rendija de refracción, se da lugar a un determinado patrón para cada elemento y compuesto químico que componga el objeto emisor o cubra el mismo, como si se tratara de un código de barras, como se muestra en la **Figura 4**. Basándose en estos conocimientos, se constituye el mecanismo de los espectroscopios (Benerjee, 2021).

Figura 4

Fundamentos de dispositivos espectroscópicos



Nota. La representación gráfica diseñada por los autores en Canva. Esta ilustración muestra de manera bastante resumida y ágil el proceso por el que es sometida la luz y así poder apreciar los espectros de absorción y emisión de la luz, en este caso en particular, del potasio (K).

Conociendo esto sobre espectroscopia, Payne hizo rigurosas observaciones de la luz que emite el Sol y otras estrellas con un espectroscopio astronómico en el observatorio de la Universidad de Harvard. Retomando el trabajo del físico Meghnad Saha sobre la teoría de la ionización pudo descubrir que la atmósfera del Sol y de las demás estrellas se componen mayoritariamente por hidrógeno y helio (Banerjee, 2021).

Durante el desarrollo de su tesis, Cecilia tuvo el acompañamiento y asesoría de Henry Norris Russel y Donald Menzel, quienes también estaban interesados en el tema. Así, cuando publica su tesis doctoral, Russel y Menzel le hacen comentarios que destrazan sus postulados, reprochando imprecisiones matemáticas, conceptuales y experimentales, aunque sin respaldo de una revisión rigurosa y libre de sesgos machistas. Tales comentarios sugirieron que el trabajo de

Payne estaba plagado de incoherencia y falacias, lo que la llevó a retirar su tesis y pedir disculpas ante la comunidad científica de la época. Sin embargo, en 1952 se evidenció que la composición estelar es principalmente de hidrógeno y helio. Tal descubrimiento fue divulgado por la Universidad de Harvard, resaltando el papel de Russel y Menzel como científicos investigadores del caso, quienes, por otros métodos, llegaron a las mismas conclusiones que Payne. Y fue tiempo después que se reconoció públicamente el mérito de este descubrimiento a Cecilia, llegando a ser reconocida por muchos como “la tesis de doctorado más brillante jamás escrita en la astronomía”.

En 1956, la Universidad de Harvard nombró a Cecilia Payne como la jefa del departamento de astronomía y profesora asociada, convirtiéndose en la primera mujer en ocupar un cargo de este tipo (Wayman, 2023). Así, desde su puesto abogó para que las mujeres tuvieran las mismas posibilidades de acceso a la educación científica y a roles dignificados en la investigación del campo. Hoy en día, Payne es una pionera en la astronomía y en la lucha contra la discriminación de la mujer en la ciencia, convirtiéndose en una inspiración para miles de jóvenes científicas alrededor del mundo.

Pretendiendo alcanzar los objetivos que se propone esta investigación, se diseñaron e implementaron secuencias didácticas basadas en prácticas científicas que resaltan el papel de Émile du Châtelet y Cecilia Payne, las cuales serán abordadas y explicitadas en la metodología, en los párrafos siguientes.

6. Metodología

En esta sección, se detalla la metodología empleada para llevar a cabo el estudio en mención. La metodología se encuentra fundamental para proporcionar todo el marco estructural que guio el registro, el análisis y la interpretación de la información. En este sentido, se describe el enfoque utilizado, el caso y su contexto, las técnicas e instrumentos empleados, las generalidades de las propuestas pedagógicas, los procesos de sistematización y análisis de la información y las consideraciones éticas implementadas para abordar los objetivos de investigación previstos. Además, se reflexiona sobre cada uno de los aspectos metodológicos y su relevancia para garantizar la validez y fiabilidad que más adelante se describirá en los hallazgos. En consecuencia, la comprensión detallada del marco metodológico permite a los lectores evaluar la solidez del estudio y comprender cómo se ha llevado a cabo este proyecto de investigación.

6.1. Paradigma de investigación y método

El presente proyecto se enmarca en un paradigma investigativo de corte cualitativo propuesto por Hernández, Fernández y Baptista (2014), el cual tiene como características un planteamiento abierto de la investigación que, con el desarrollo de esta, se va enfocando hacia asuntos mucho más específicos que conllevan a procesos reflexivos sobre el ambiente natural, extrayendo datos significativos sin fundamentarse en lo estadístico. Además, esta perspectiva obedece a un proceso inductivo y recurrente que analiza las realidades subjetivas de las temáticas investigadas, es decir, sin seguir una secuencia lineal.

La elección de esta perspectiva investigativa permitió estar en constante actualización literaria ya que, al no ser una secuencia investigativa lineal, en el sentido de no seguir un paso a paso estricto, nos posibilitó la facultad de retroceder y retroalimentar los marcos referenciales del proyecto. Asimismo, se asumió esta perspectiva en la medida que se centra en la comprensión profunda y detallada de un caso particular, destacando así la interpretación personal y la unicidad de cada situación. En este sentido, se adoptó un enfoque interpretativo, que ayudó a identificar relaciones inesperadas (entendiendo casos específicos con relación al contexto), adaptar y flexibilizar (al momento de ajustar observaciones y reorientar la investigación según sea necesario)

y a comprender más profundamente el caso estudiado (involucrándonos directamente en el campo) (Stake, 1999).

Ya establecido el paradigma de investigación, se optó por emplear como método el estudio de caso, que busca comprender exhaustivamente un caso particular, fomentando una interacción detallada entre los sujetos de estudio y su contexto. Así, partiendo de la complejidad y singularidad del caso, su objetivo es comprender la actividad en circunstancias significativas. Al mismo tiempo, se decidió inclinarse por un estudio de caso intrínseco, el cual contribuyó en la selección del caso a investigar, teniendo en cuenta que no se eligió deliberadamente, sino que surgió de manera espontánea y por la necesidad de explorar el campo (Stake, 1999). En este sentido, al manifestar un interés por el caso y su contexto, el estudio de caso intrínseco no busca generalizar la problemática, sino que centra su enfoque exclusivamente en comprender un caso específico. Asimismo, este tipo de caso intrínseco favorece la rigurosa interpretación del caso particular a través de la interacción detallada y continua entre los investigadores y las informantes, y de la exploración de esa complejidad y singularidad para entender las experiencias más significativas.

Este tipo de método asumido (estudio de caso intrínseco), posibilitó también dinamizar nuestros intereses personales, centrándonos en los temas específicos que se relacionan con el caso en cuestión (Stake, 1999). Así pues, el caso único o intrínseco, posee en sí la capacidad de influir significativamente en el conocimiento, ya que confirma (reforzando el conocimiento existente), cambia (explicando de diferente forma las teorías o hipótesis planteadas) o amplía (permitiendo una comprensión más amplia, profunda y completa de las teorías o hipótesis) las comprensiones previas (Rodríguez et al, 1996), proporcionando, de este modo, la posibilidad de estudiar y comprender un caso poco estudiado en la enseñanza de la ciencia, como lo es la enseñanza de la física desde una perspectiva feminista de la HFC. Este tipo de metodología se considera adecuada en tanto el problema identificado está enmarcado en la única institución educativa femenina de carácter público de la ciudad de Medellín y que, además, posee características e intereses afines a los objetivos de la investigación.

6.2. El caso y su contexto

El lugar en el que se llevó a cabo esta investigación es el Centro Formativo de Antioquia, CEFA. El CEFA es una institución educativa femenina de la ciudad de Medellín que cuenta con todos los niveles de educación básica secundaria, media académica y algunas técnicas. Es ampliamente reconocida por ser la única institución de carácter público en la ciudad cuya población estudiantil es exclusivamente femenina. Desde su fundación por parte del ingeniero Joaquín Vallejo Arbeláez durante el auge de las ideas liberales del gobierno de Alfonso López Pumarejo a mediados de la década de 1930, el CEFA se erigió bajo tres objetivos clave según su página web oficial (<https://centroformativodea.wixsite.com/cefa>):

1. Acercar la mujer a la fuerza laboral, para que así pueda ser calificada y participe en trabajos productivos.
2. Implantar una reforma pedagógica liberal con ideas de Revolución en Marcha, basadas en la preeminencia de las clases populares: la obligatoriedad, gratitud, mérito y laicidad de la educación.
3. Ofrecer igualdad de oportunidades a la mujer antioqueña y colombiana, por lo tanto, posibilitar su acceso a las universidades.

Para la comprensión del caso y atendiendo al criterio de las muestras teóricas o conceptuales, se seleccionó el grado undécimo con énfasis en matemáticas (11MAT), el cual integran 39 estudiantes. La elección de las participantes obedece a las intenciones de la investigación, debido a que las estudiantes mostraron interés por la HC, puesta en evidencia luego de algunas intervenciones propias de las Prácticas. De manera puntual, el grupo focal de informantes lo constituyeron ocho estudiantes de este 11MAT, las cuales poseen gran habilidad discursiva, cuyos intereses y concepciones sobre ciencia y la física en particular han sido enmarcadas en una perspectiva alejada de la HFC, reduciéndose a los contenidos disciplinares sin contextualización y, además de esto, que conciben a la física de una manera matematizada y sumamente teórica. Estas estudiantes serán llamadas para el estudio con el pseudónimo de P1 a P8.

6.3. Técnicas e instrumentos para el registro de la información

Tal y como se propone en las investigaciones de estudio de caso, es necesario mantener una interpretación fundamentada (Stake, 1999). La presente investigación empleó varias técnicas e instrumentos de registro de la información propuestas por Hernández, Fernández y Baptista (2014) y Gonzaga (2016), que se describen y codifican de la siguiente manera:

6.3.1. Cuestionario

Técnica de investigación que se caracteriza por un conjunto de preguntas o afirmaciones previamente diseñadas para ser contestadas por las informantes. Cabe aclarar, que las respuestas pueden ser delimitadas por los investigadores. Por lo anterior, se decidió utilizar dos instrumentos que se consideraron los más adecuados para proceder con el proyecto de investigación.

i. Cuestionario tipo Likert (EL): Este instrumento de registro de la información se usó para conocer la percepción de las estudiantes sobre el rol de la mujer en el desarrollo y en los procesos de los conocimientos científicos a través de la historia de la ciencia. Esta escala de valoración se utilizó para sondear en las participantes sobre su nivel de acuerdo o desacuerdo, siendo 1 total desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo, con una declaración.

ii. Cuestionario tipo KPSI (FK): Por sus siglas inventario de conocimientos previos del estudiante (Knowledge and Prior Study Inventory), como su nombre lo indica, es un instrumento de evaluación inicial que funciona para indagar los conocimientos sobre una temática en específico antes de realzar cualquier intervención, es decir, es un instrumento exploratorio. Este formulario cuenta con preguntas en donde las estudiantes tienen la posibilidad de justificar su respuesta (Martínez, 2016); así pues, se les proporcionó a las estudiantes respuestas como: “No lo sé”, “He oído hablar de ello, pero no sé casi nada”, “Sé un poco”, “Lo sé, pero no puedo explicarlo”, “Lo sé y puedo explicarlo”. Teniendo la oportunidad que justificar o extender su respuesta en un apartado que dice: “Si lo sabe, sintetice en una frase o dé un ejemplo”. Finalmente, este instrumento se usó para conocer cuáles eran los saberes previos de las estudiantes sobre los asuntos disciplinares discutidos en la secuencia didáctica y también para indagar sobre la percepción del rol de Cecilia Payne respecto al mismo saber disciplinar y su rol como mujer científica en la historia.

6.3.2. Grupos de discusión

Esta técnica metodológica posibilita el estudio de los pensamientos y de los procesos de reflexión de las estudiantes sobre una temática en común (Mena y Méndez, 2009). Esta técnica incluye dos instrumentos que se describen a continuación.

- i. Socialización (GD): Es relevante destacar que este instrumento es una adecuación de la estrategia evaluativa RRPC (Recordar, Resumir, Preguntar, Conectar y Comentar) propuesta por Gonzaga (2016). Para ello se implementó una secuencia didáctica basada en prácticas científica sobre la luz en relación a los aportes de Cecilia Payne. Dicha secuencia contaba con momentos de conceptualización, taller, reflexión, producción y discusión. Posterior al taller se propusieron formas de presentación a elección de las estudiantes (escrito, video, cartelera, caricatura, obra de teatro, etc.) que mostraran la comprensión de conceptos, fenómenos, instrumentos y reflexiones sobre el rol de la mujer, en especial de Cecilia Payne, en la física y astronomía. En consonancia, se realizó una socialización sobre estos productos ante sus demás compañeras, desde la cual se buscó mostrar y aclarar con mayor profundidad las actividades y temas propuestos.
- ii. Reflexiones escritas (RE): Este ejercicio implicó escribir las reflexiones de manera corta y las conclusiones que emergen posterior a la ejecución de las actividades, siendo su formato semejante a un ensayo corto, una reseña con la postura crítica personal o una columna de opinión (Martínez, 2016). Este instrumento se implementó para conocer cuáles fueron las reflexiones que les suscitó a las estudiantes indagar el aporte, desde una perspectiva NOS, al saber disciplinar.

6.3.3. Grupos de Enfoque

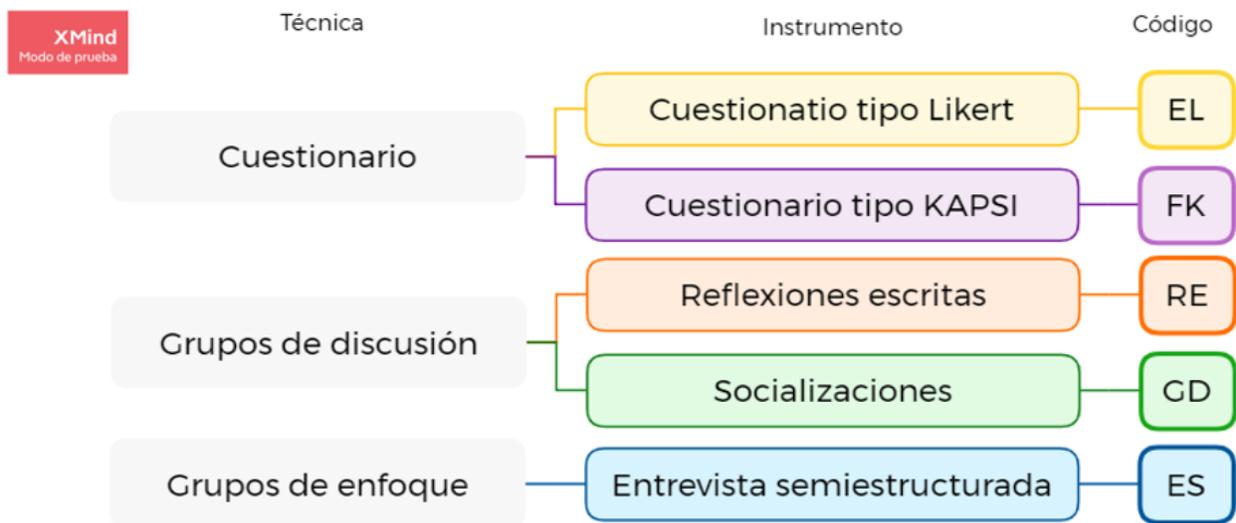
Esta técnica, también llamada sesiones en profundidad, la constituyen conversaciones con el grupo focal del estudio, guiadas por los investigadores a razón del tema de interés, a través de preguntas estratégicas y previamente seleccionadas (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

- i. Entrevista semiestructurada (ES): Este tipo de entrevista “se basan en una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 403). Su objetivo fue indagar y analizar sobre los cambios acerca de las percepciones sobre ciencia y el desarrollo del pensamiento crítico de las estudiantes a raíz de las propuestas didácticas.

A continuación, en la **Figura 4** se presenta un organizador gráfico que posibilita visualizar dichas técnicas e instrumentos con su respectiva codificación.

Figura 4

Técnicas e instrumentos



Nota. Se muestra la sistematización de las técnicas e instrumentos para el registro de la información con su respectiva codificación. Figura hecha en XMind.

6.4. Propuestas pedagógicas

Este proceso se dinamizó por los investigadores a través de la implementación de secuencias didácticas basadas en prácticas epistémicas (Ford, 2015 y Kelly, 2008 citados en García-Carmona, 2021). Las secuencias didácticas diseñadas son dos y constan de cuatro pilares fundamentales: i) objetivos disciplinares (epistémicos) y socioculturales (no epistémicos), que se enfocan en los aspectos que confieren al conocimiento científico, al desarrollo del conocimiento científico, relación entre la comunidad científica y la relación con la sociedad; ii) la recontextualización, es el proceso donde se trae a colación un conocimiento científico significativo, para explicarlo y adaptarlo a un contexto distinto al de su origen, en este caso un conocimiento científico identificado en la HC, adecuado al contexto escolar; iii) las actividades, para la organización y dinamización de las sesiones correspondientes a las secuencias didácticas; iv) la evaluación, es el reconocimiento y garantía del proceso de aprendizaje de los contenidos que se proponen, además de brindar la información para el análisis en el presente estudio. Las secuencias didácticas diseñadas se titulan: “Tras las huellas de la gravedad: el legado de Émilie du Châtelet” y “Un viaje a las estrellas... con Cecilia Payne”, y se fundamentan en el uso de la HFC en la enseñanza de la física, desde una perspectiva que enfatiza el rol de la mujer en la ciencia. A continuación, se describe cada una de ellas.

6.4.1. *Tras las huellas de la gravedad: el legado de Émilie du Châtelet.*

Para el diseño de esta secuencia, se consultó en Gervasoni (2019), Hutton (2014) y el texto de primera fuente de Newton (2018). Se ejecutó en una única sesión. A continuación, se presentan cada una de las características de la secuencia didáctica basada prácticas epistémicas:

- a) **Objetivos:** El planteamiento de los objetivos se orientó hacia el papel de la comunidad científica en la aceptación de nuevos conocimientos, a la persuasión de ideas científicas, a la comprensión de la Energía Potencial Gravitacional (EPG) y a la relación entre las diferentes teorías del conocimiento.

- b) Recontextualización: En la presente propuesta didáctica, se trae una controversia científica entre Émilie du Châtelet e Isaac Newton en torno a la EPG. Se elaboraron unas fichas biográficas, las cuales consistieron en registrar información pertinente de las fuentes de información en tarjetas (ver Anexo 1, Anexo 2 y **Figura 5**). En este caso, se creó una historia sociocultural enmarcada en la controversia ya mencionada. En las fichas, se presentó una breve biografía científica y personal del científico y la científica en mención, además de sus contribuciones y correcciones al planteamiento de la EPG.

Figura 5

Fichas controversia Émilie du Châtelet e Isaac Newton



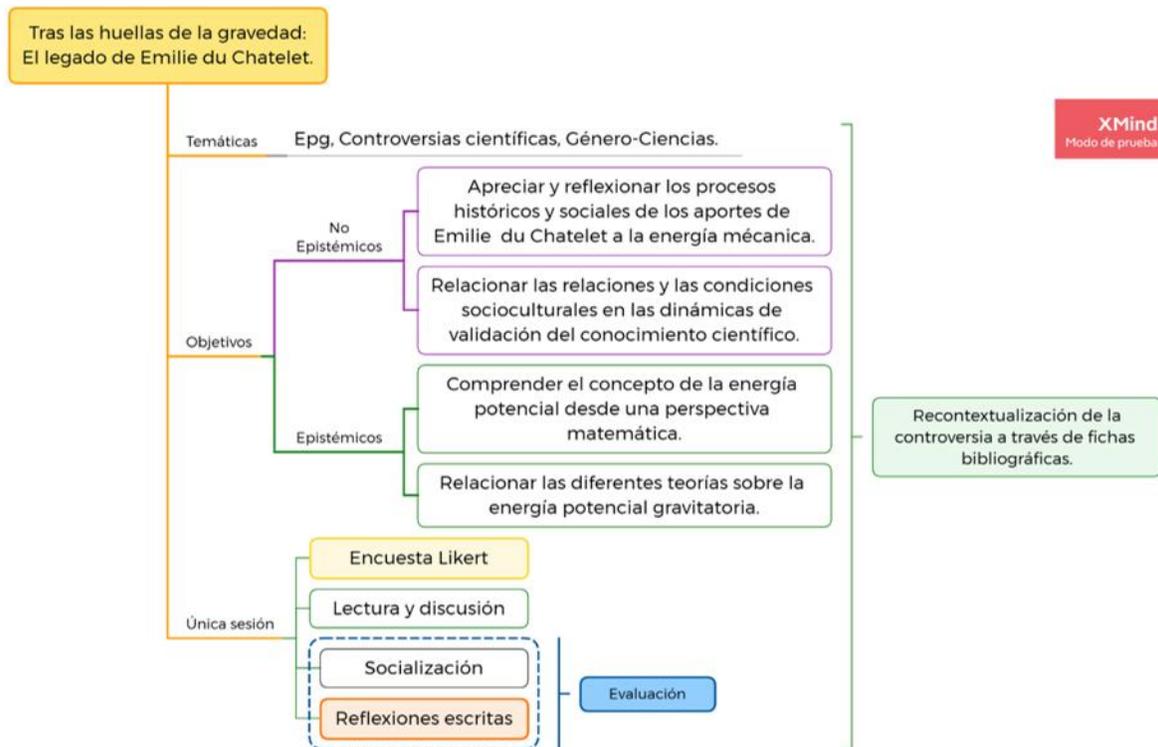
Nota. Estas fichas son una muestra de una serie de 21 que exponen la recontextualización de la controversia científica entre du Châtelet y Newton. En dichas fichas se muestran tanto aspectos bibliográficos como disciplinares específicos de la energía potencial con el fin de soportar la SD1. Fichas hechas en Canva.

- c) Actividades: Esta secuencia didáctica se diseñó para hacerse en una única sesión. Así, se llevó a cabo en una actividad guiada hacia la lectura de las fichas de recontextualización en dos grupos, donde cada grupo se organizó y discutió internamente los hallazgos y vida de uno de los científicos propuestos.
- d) Evaluación: Aquí, se propusieron dos tipos de evaluación, un debate en el cual un grupo expuso las ideas principales de Émilie du Châtelet y el otro las ideas principales de Isaac Newton, tanto de los aspectos conceptuales como en el contexto sociocultural donde se desarrolló el conocimiento de la EPG. Posteriormente, se utilizaron los instrumentos de

registro de la información RE, donde las informantes plasmaron sus percepciones de la lectura, haciendo énfasis al rol de du Châtelet como figura femenina en la ciencia y cómo percibieron su aporte a la EPG dentro de su contexto social y cultural.

Figura 6

Sistematización de SD1: Tras las huellas de la gravedad: El legado de Émilie du Châtelet



Nota. La figura muestra de una manera resumida las características generales de la SD1. Se destacan ampliamente los objetivos epistémicos, los no epistémicos y los instrumentos de registro de información o evaluación de la propuesta. Figura hecha en XMind.

6.4.2. Un viaje a las estrellas... con Cecilia Payne.

Para la secuencia sobre Cecilia Payne se acudió a textos de primera fuente como Payne (1925) y de segunda fuente como Benerjee (2021), Trimble (2022) y Wayman (2002). Seguidamente, se decidió seguir con la propuesta de prácticas epistémicas y, así, se proyectó la segunda propuesta didáctica (**Figura 8**). Su duración fue de tres sesiones de dos horas cada una.

A continuación, se describirá la secuencia con ejemplos de los objetivos, su proceso de recontextualización, las actividades planteadas y, por último, la evaluación:

- a) **Objetivos:** La formulación de objetivos se dirigió hacia la NOS, más específicamente en el saber disciplinar, en la construcción de este, las relaciones profesionales y personales en la comunidad científica y en el papel de la comunidad científica en la aceptación de los nuevos conocimientos.
- b) **Recontextualización:** En la actual propuesta didáctica, se toma la recontextualización sociocultural, como ya se mencionó anteriormente en el marco conceptual, donde se procuró dar a conocer el papel que jugó Cecilia Payne en el descubrimiento de la composición de las estrellas y aquellos obstáculos que afrontó por ser mujer científica en la época donde desarrolló sus teorías. A partir de esto, se creó una simulación de perfil de red social (Anexo 3 y **Figura 7**) exhibiendo, en orden cronológico, una serie de acontecimientos alrededor de la carrera científica de Payne y su relación con los demás científicos contemporáneos. Esto, con el fin de dar a conocer su biografía y sus aportes.

Figura 7*Fragmento de la recontextualización sobre Cecilia Payne*

Nota. La ilustración muestra un parte de la recontextualización sociocultural que los investigadores diseñaron con el objetivo de llevar al aula la biografía de Cecilia Payne enmarcada en la SD2. Hecho en Canva.

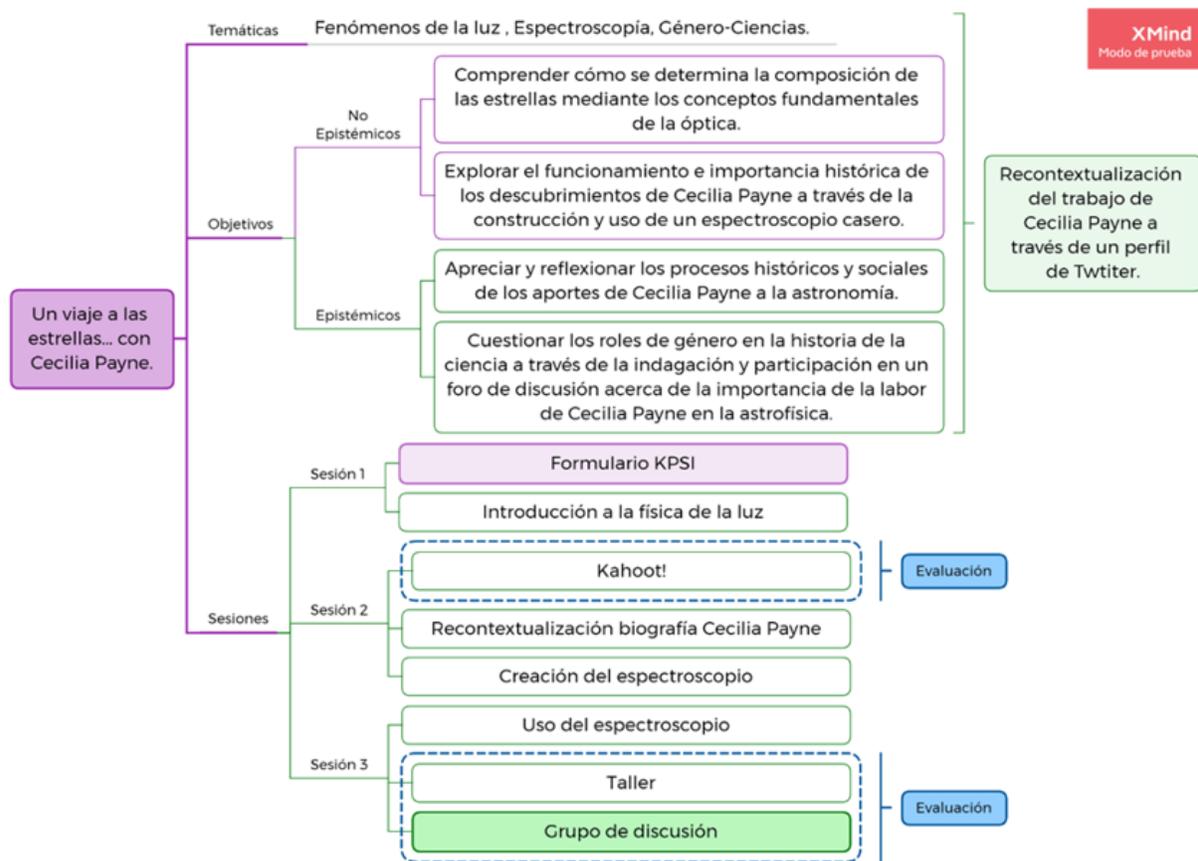
- c) **Actividades:** Como fase fundamental en el desarrollo de la secuencia didáctica, se plantearon cinco actividades que se desarrollaron a lo largo de tres sesiones de dos horas cada una. Inicialmente, se implementó el cuestionario FK que incluye de una escala de: “No lo sé”, “Sé un poco”, “lo sé, pero no puedo explicarlo” y “lo sé y puedo explicarlo”, con el fin de indagar qué conocimientos tenían las informantes sobre la física de la luz, la espectroscopía y de la científica Cecilia Payne; además, este cuestionario ayudó como instrumento de análisis de la información. Como segundo momento, se expuso una breve introducción a la física de la luz, teniendo en cuenta el cuestionario FK anterior, por medio de simulaciones computacionales y del instrumento

“radiómetro de Crookes”. La tercera actividad consistió en una lectura grupal de la recontextualización de la vida científica de Cecilia Payne. La cuarta actividad se centró en la construcción de un espectroscopio con materiales caseros (tubos de cartón, cartulina negra, tijeras, bisturí, cinta, pegamento, prisma o CD’s), dirigida por unos pasos a seguir para su óptima elaboración. Por último, el uso del espectroscopio, no sin antes explicar qué es la espectroscopía y cómo usar el instrumento.

- d) Evaluación: Para la secuencia, se propusieron dos evaluaciones. La primera, ¡por medio de la plataforma Kahoot!, se evaluaron los saberes previamente estudiados en la primera actividad, preguntando sobre los conceptos teóricos de la física de la luz. La segunda, al finalizar las actividades, se realizó un taller guiado por preguntas orientadoras de carácter teórico-conceptual y de carácter Histórico y epistemológico, tales como: “¿Cómo funciona el espectroscopio? ¿Para qué se usa?”, “Explique y ejemplifique la dispersión de la luz”, “¿Qué papel juegan los elementos químicos en las líneas de Fraunhofer?”, pertenecientes al eje teórico y “¿Qué reflexiones te dejan los procesos que tuvo que vivir Cecilia Payne en la construcción y validación de sus aportes al conocimiento científico?” y “¿Cómo describirías la influencia de Cecilia Payne, como mujer científica, en la perspectiva sobre la mujer en la ciencia y la sociedad?” respondiendo al eje histórico, dando la libertad de que las participantes escogieran una pregunta de cada eje y respondieran en el formato que pudiera socializar en máximo 12 minutos; esta última evaluación, contribuyó como instrumento de análisis de la información GD.

Figura 8

Sistematización de SD2: Un viaje a las estrellas... con Cecilia Payne



Nota. La figura muestra de una manera resumida y general las características de la SD2. Se destacan los objetivos epistémicos, los no epistémicos y los instrumentos de registro de información o evaluación de la propuesta. Figura hecha en XMind.

6.4.3. Entrevista Semiestructurada (ES)

Para dar cuenta del alcance de los objetivos que se proponen, se realizó una entrevista semiestructurada posterior a la implementación de la secuencia didáctica SD2. Esta entrevista se guio por ocho preguntas generales y seis preguntas a las informantes del grupo de enfoque (Anexo 3). A continuación, se muestran las preguntas con su respectiva codificación, la cual será de gran utilidad para realizar el análisis de los resultados.

Preguntas generales:

Q1: ¿Por qué consideras que conocer la HFC en clases de Física puede ayudar (o no) a comprender mejor el conocimiento científico, conociendo el contexto histórico bajo el cual se descubrieron?

Q2: ¿Cómo te ha ayudado el estudio de la HFC y NOS a cuestionar y analizar críticamente las teorías y descubrimientos científicos?

Q3: ¿Cuál consideras que es la relación entre la ciencia y la historia?

Q4: ¿De qué manera crees que un enfoque histórico y epistemológico en las clases de ciencias puede fomentar la curiosidad y reflexión?

Q5: ¿Qué otro tipo de temas históricos o epistemológicos de la ciencia te hubiese gustado explorar en clase?

Q6: ¿Cómo describes la influencia, tanto de Cecilia Payne como de Émilie du Châtelet, en la perspectiva que ahora tienes sobre la ciencia y el rol de la mujer en ella?

Q7: ¿Qué acciones crees que los y las educadores deben tomar para que las estudiantes se motiven a hacer ciencia?

Q8: ¿Qué otras reflexiones, además de las ya mencionadas, te dejan los procesos que tuvieron que vivir Émilie du Châtelet y Cecilia Payne en la construcción y validación de sus aportes a la ciencia?

Preguntas a las participantes:

QP1: ¿Cuáles crees que, como sociedad, son los cambios que deberíamos efectuar para que no vuelva a suceder esa opresión hacia mujeres que deciden incursionar en las disciplinas de las ciencias?

QP2: ¿Cómo te gustaría a aportar en un futuro para que chicas interesadas en la ciencia en generaciones futuras, posteriores a la tuya, se motiven a estudiarlas?

QP5: ¿Por qué crees que es importante que los profesores y profesoras de física empecemos a enseñar sobre la importancia del rol de las mujeres en la ciencia?

QP6: ¿Cómo sientes que ha cambiado el mundo respecto al reconocimiento y las oportunidades para la mujer en la ciencia desde la época de Cecilia Payne hasta la nuestra? ¿Qué sientes que falta por cambiar?

QP7: ¿Cómo era tu relación con las clases de física antes de empezar a explorar la historia de estos personajes? ¿Cómo ha cambiado luego de dicha exploración?

QP8: ¿Crees que es importante que cada vez más mujeres se animen a seguir carreras de STEM? ¿Por qué?

6.5. Sistematización y análisis de la información

Para este apartado, el análisis de la información registrada se realizó mediante el análisis de contenido que, según Piñuel (2002), consiste en los procesos de interpretación que son producto de mensajes, textos o discursos dados por las informantes. Se utilizó para estudiar a las participantes de manera singular desde una perspectiva crítica y teórica.

Ahora, los pasos principales para realizar este tipo de análisis son tres:

i) la selección de la comunicación a estudiar: Consistió en seleccionar los mensajes y discursos que fueron analizados, basados en el contexto particular y en los objetivos de la investigación. Para este paso, utilizamos instrumentos de registro de información anteriormente descritos (EL, FK, GD, RE, GE) para tener una visión detallada y significativa del objeto de investigación, permitiendo extraer conclusiones relevantes y fundamentadas.

ii) Selección de las categorías de análisis: Implicó la definición de categorías (**Tabla 1**) derivadas del marco conceptual. Permitted representar temas específicos y deducir posibles respuestas a partir de la información obtenida. Dado el caso de estudio, se decidió desarrollar la idea de Cisterna (2005) donde propone asignar indicios a las categorías que ayudan a la comprensión de respuestas relacionadas con las mismas.

Tabla 1
Categorías e indicios

<i>Categoría</i>	<i>Indicio</i>	<i>Código</i>
<i>Comprensión de los fenómenos físicos desde reflexiones sobre NOS.</i>	Compara, analiza y toma posición sobre las perspectivas de la Energía potencial gravitatoria.	I1C1
	Explica e interpreta cómo se determina la composición de las estrellas con la ayuda de los fenómenos de la luz.	I2C1
	Relaciona los fenómenos de la luz para comprender el funcionamiento de instrumentos ópticos.	I3C1
	Reflexiona sobre los procesos de construcción de los conocimientos científicos.	I4C1
<i>Pensamiento crítico con relación a la epistemología feminista de las ciencias.</i>	Reconoce y reflexiona sobre el contexto histórico, social y cultural en la construcción del conocimiento científico científicos.	I1C2
	Resignifica el rol de la mujer científica.	I2C2
	Identifica los sesgos dados por los estereotipos de género en la construcción del conocimiento científico.	I3C2

Nota. En la tabla se proponen las categorías de análisis, sus indicios y codificación correspondientes, que fundamentan y guían el análisis de los resultados obtenidos de las diferentes intervenciones. Se resalta que la primera categoría se enmarca en lo que se ha denominado como el hablar de ciencia y la segunda como hablar sobre ciencia.

iii) Selección de las unidades de análisis: Se refiere a la determinación o selección de las unidades específicas dentro de aquellos mensajes o discursos significativos que serán analizados pertinentemente. Estos pueden ser representados en palabras, frases, discursos o cualquier otra unidad relevante que responda a los propósitos de la investigación (Cisterna, 2005). En este sentido, se organizó una matriz de análisis de la información (**Tabla 2**) para identificar las Unidades de Análisis (UA) más relevantes.

Tabla 2*Muestra de la matriz de análisis*

Categorías	Indicios	Unidad de análisis en el instrumento GD
C1. Comprensión de los fenómenos físicos reflexiones NOS.	II. Compara, analiza y toma posición sobre las perspectivas de la Energía potencial gravitatoria.	"Cuando la luz de una estrella pasa a través de la atmósfera en la tierra, los elementos químicos en la atmósfera absorben la luz en ocasiones específicas, pues ellos generan unas líneas oscuras que hacen el espectro de la luz y pues estas líneas ayudan al estudio de la composición química" G1/ (Cecilia Payne) halló una forma de determinar la composición de los cuerpos celestes por medio de las líneas de absorción de la luz, por el cual se evidenció son determinados por los elementos químicos que componen los mismos. G3
I3. Relaciona y comprende el funcionamiento de instrumentos ópticos a razón de los fenómenos de la luz.		"¿Cómo funciona un espectroscopio? Primero, captura la luz de una fuente, ya sea una estrella o una lámpara, después ocurre la dispersión de la luz; la luz pasa por una rejilla de dispersión lo que hace es separar los componentes de esta, luego forma el espectro, ahí la luz se dispersa en una serie de colores que se forman ahí; es una onda continua similar a la del arcoíris" G1 / "un experimento casero que se puede hacer es crear un espectroscopio y ver, con ayuda de un disco y un filtro, cómo se descompone un rayo de luz blanca en diferentes colores dependiendo de la longitud de onda". G2
I4. Reflexiona sobre los procesos de construcción de los conocimientos científicos.		"Las líneas de Von Fraunhofer son muy importantes ya que nos permiten conocer la composición química de las estrellas. Estas líneas se forman cuando ciertos elementos se encuentran en las atmósferas de las estrellas; ya que cada elemento absorbe una longitud de onda eso hace que cada elemento muestre colores diferentes" G5 / "(...) Porque no nos incentivan ni nos muestran

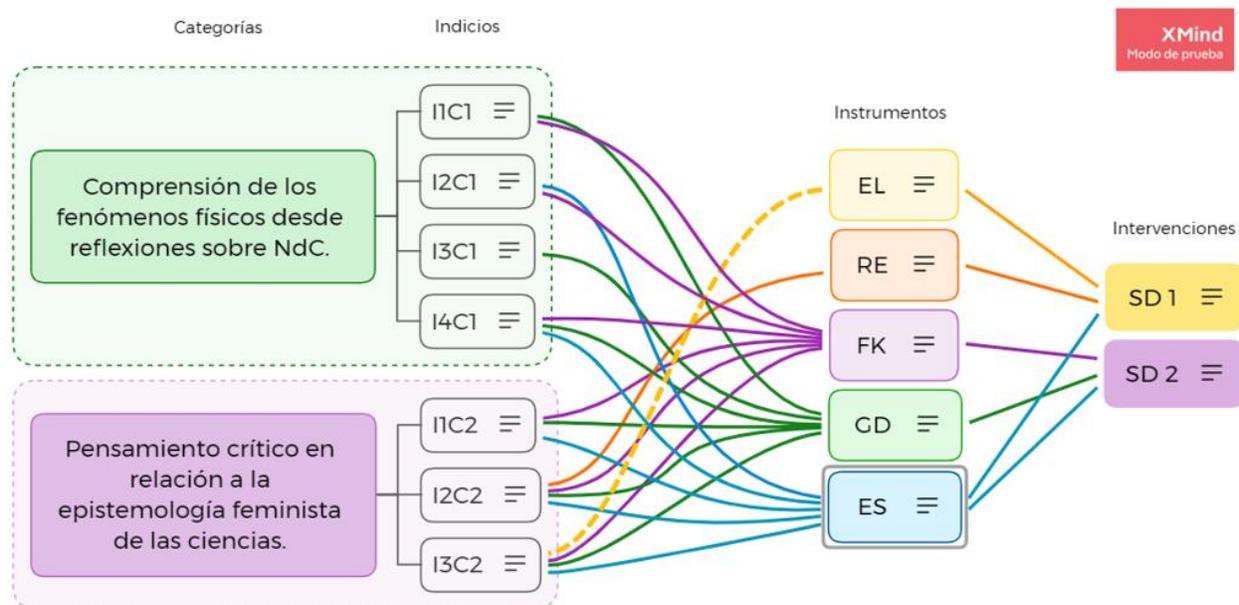
esos aportes que han creado las científicas y que han hecho que la evolución y el desarrollo de la ciencia sea tan importante" G5

Nota. El objetivo de la tabla es mostrar un fragmento de la matriz de análisis que soportó y sistematizó la información para su estudio, en primera instancia. Corresponde a la clasificación de las intervenciones de las informantes en los GD respecto a los indicios en C1.

Esta selección de la información se basa en la pertinencia, tomando únicamente lo relacionado con la temática, y la relevancia al momento de ser algo asertivo y destacable de los datos obtenidos, siempre relacionándolos con los objetivos de la investigación. Consecuentemente, se buscaron comparaciones significativas, atendiendo a la red de categorías e indicios.

Finalmente, se precedió a la triangulación de la información planteada por Cisterna (2005) donde se destaca el marco conceptual como una fuente esencial para el proceso de construcción de conocimiento en la investigación. Se encontró necesario retomar la discusión bibliográfica para producir nuevas discusiones, integrando resultados concretos en la práctica pedagógica.

Esta integración conlleva a la reflexión entre lo que indica la literatura sobre los temas propuestos (materializados en las categorías e indicios) y lo que se encontró durante la investigación. Esta triangulación confiere a la investigación carácter de cuerpo integrado y su sentido como totalidad significativa, es decir, logra crear un conjunto unificado del conocimiento presentando la investigación como una entidad completa y consistente, donde los elementos registrados se combinan de una manera armoniosa ofreciendo la comprensión profunda y significativa del tema investigado. Además, la integración de los diferentes aspectos del estudio permite que se genere un significado más amplio y enriquecedor que, más allá de las partes individuales, proporciona una percepción general y profunda de la investigación. En este caso, con ayuda de la triangulación se pudo identificar las relaciones entre la información arrojada por cada instrumento y su correspondencia de manera conveniente a la propuesta red de categorías e indicios y las secuencias didácticas. Tales relaciones son posibles visualizarlas en la **Figura 9**.

Figura 9*Relación entre instrumentos y la red de categorías e indicios*

Nota. La figura muestra las relaciones entre los indicios correspondientes a cada categoría de análisis con los instrumentos y las secuencias didácticas, a través de sus respectivos códigos. La línea punteada, correspondiente a la EL y alude a que no constituye un campo fuerte de análisis en los hallazgos, sino que se instaura como instrumento crucial en la identificación en primera instancia de los conocimientos e intereses previos a las implementaciones de las SD1 y SD2 de las estudiantes. Figura hecha en XMind.

6.6. Consideraciones éticas

Para la realización del presente proyecto se tuvo en cuenta una serie de responsabilidades éticas. Entre ellas está el consentimiento informado donde se explicaron claramente a las informantes los objetivos de la investigación, los procedimientos a seguir, los posibles riesgos y beneficios que conlleva la participación en la investigación, además del derecho de las participantes a retirarse en cualquier momento sin alguna consecuencia alguna. También se menciona la confidencialidad y el anonimato, con el fin de garantizar la privacidad de la información recopilada, protegiendo la identidad de las informantes a través del uso de códigos, aclarando que la información no será divulgada sin su consentimiento explícito. Esto último se cumplió rigurosamente, ya que la mayoría de las informantes eran menores de edad al momento de realizar la investigación, dando la imperiosa remisión del consentimiento a sus tutores legales. Paralelamente, se abogó en la minimización de los posibles factores que pudieran provocar daños

físicos, sociales o psicológicos. Adicionalmente, en todo momento se medió para mantener el respeto por la diversidad cultural y de creencia de las informantes, evitando cualquier forma de discriminación o estigmatización. Para la elaboración del consentimiento informado, se utilizó el formato del Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE) (Anexo 4).

Para cerrar, se añade que se puso el foco de atención para mantener la integridad de la investigación, a modo que se siguieron los estándares necesarios para evitar el plagio, la falsificación de datos y cualquier otra forma de mala conducta. En este marco de ideas, todos los datos fueron recopilados y analizados de manera transparente y honesta, evitando así conflictos de interés. Finalmente, se tuvo en cuenta la divulgación de los resultados, comunicándolos de manera clara, precisa y objetiva, evitando exageraciones o interpretaciones sesgadas. En este sentido, se vio fundamental compartir los hallazgos con las personas interesadas y con las informantes, reconociendo su gran contribución al estudio en cuestión.

7. Hallazgos

El presente capítulo muestra la información obtenida durante la implementación de las secuencias didácticas SD1 y SD2, a través de cada instrumento de recolección descrito en el marco metodológico. Adicionalmente, se analiza dicha información en función de su pertinencia respecto a las categorías de análisis establecidas y sus respectivos indicios. La finalidad de este apartado, en términos generales, es analizar cómo los resultados de la investigación se orientaron a la consecución de los objetivos establecidos en el planteamiento de este. En afinidad con las consideraciones éticas de este estudio, los nombres de las ocho participantes fueron encriptados, asignándoles un código a cada una de P1 a P8. A continuación, la descripción de los hallazgos, organizada en torno a las categorías identificadas.

7.1. Abordaje de los fenómenos físicos a través de la NOS.

La categoría Abordaje de los fenómenos físicos a través de la NOS (C1) encierra un profundo significado que merece ser desarrollado de manera minuciosa. Para empezar, la noción de abordaje de los fenómenos físicos, en el contexto de esta investigación, involucra una intencionalidad en las estudiantes para esbozar una descripción de fenómenos asociados a la Energía Potencial Gravitacional (Epg) y los Fenómenos de la Luz. Por otro lado, la mediación de la NOS alude a la importancia de que esta intelección esté atravesada y enriquecida por una reflexión metacognitiva explícita de asuntos relativos al origen, propósito y métodos del conocimiento científico (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2015). Este enfoque fue considerado como eje esencial en el análisis de los resultados porque permite evidenciar en las participantes una percepción de la ciencia como un proceso dinámico de indagación y descubrimiento continuo, y no como un conjunto de hechos incuestionables. Al integrar todos estos elementos, se incita a una comprensión crítica y significativa de los fenómenos físicos, arraigada en un contexto más amplio de la práctica científica (McComas, 1998).

Con el fin de atender de manera pertinente al análisis de la información, se retoma lo establecido en la categoría C1 y sus respectivos indicios I1C1 a I4C1. En este sentido, se diseñaron instrumentos para el registro de la información relativa a dichos indicios, a saber: Reflexiones

Escritas (RE), implementado durante la secuencia didáctica SD1; y el Formulario KPSI (FK), Socialización (SZ) y una Entrevista Semiestructurada (ES), implementados a través de la secuencia didáctica SD2. A continuación se presentan las unidades de análisis recolectadas por cada instrumento que, según las categorías e indicios ya descritos, refleja que las participantes abordaron los fenómenos físicos a través de reflexiones sobre la NOS.

El primer hallazgo por resaltar fue la nula información relativa a la categoría C1 recolectada por el instrumento RE. A pesar de que las participantes en cuestión evidenciaron en su discurso indicios de formación de pensamiento crítico con relación al rol de la mujer en la ciencia (elementos que se retomarán para el análisis de la categoría C2), evitaron abordar los conceptos físicos vistos en clase. Este hecho da pie a establecer que, posterior a la implementación de la secuencia SD1, no hubo evidencia alguna de disposición por parte de las participantes para intentar explicar conceptos propios de la física a través de la NOS. En este marco de ideas, se reconoce que estas reflexiones consignadas en el instrumento RE, desde lente de la información registrada con el instrumento ES, se sustenta que esta poca alusión a conceptos físicos vistos en los encuentros se remonta al inicio del proceso, pues las participantes manifestaron su falta de interés por la física y luego tener un acercamiento a la física desde una perspectiva de NOS en donde se le dio protagonismo a los aportes de mujeres científicas significó un despertar del interés por la materia. De esta manera, se comprende que las participantes hayan puesto el foco de atención en la representación de la mujer en la ciencia y el eco que produjo en ellas.

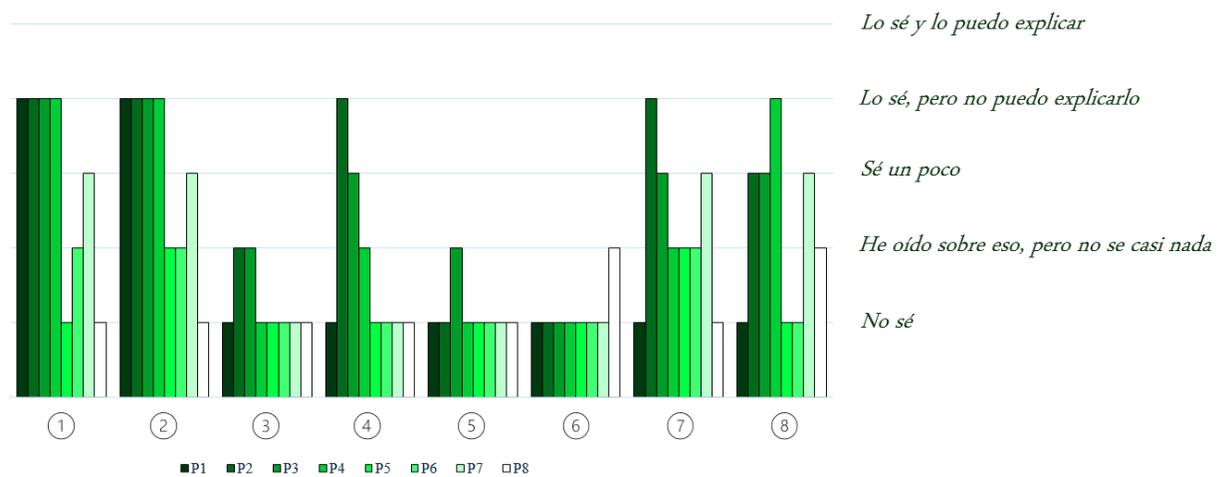
Pasando a los instrumentos de recolección utilizados durante la secuencia SD2, comenzamos el análisis con la información proporcionada a través del instrumento FK. Como se señaló en el capítulo de la metodología, este instrumento se orientó en torno al sondeo preliminar de la disposición de las participantes para describir fenómenos y experimentos ópticos antes de la implementación de la secuencia didáctica. La finalidad de dicho sondeo fue proporcionar información de la situación inicial para establecer una comparación con las respuestas obtenidas posteriormente con los instrumentos SZ y ES. Se presume que esta comparación permite evidenciar eventuales efectos de la secuencia SD2 en la disposición de las participantes a abordar una explicación de fenómenos relacionados a la física de la luz y sus reflexiones en relación con la NOS.

En este marco de ideas, el cuestionario consistió en ocho preguntas de conocimiento previo acerca de la naturaleza de la luz, fenómenos asociados, aplicaciones en la astrofísica y a los aportes

científicos de Cecilia Payne, asociadas a la categoría C1, y dos preguntas relacionadas a la percepción del rol de la mujer en la producción del conocimiento científico, las cuales serán retomadas en el análisis enmarcado a la categoría C2. Las opciones de respuesta posibilitaron evidenciar la autopercepción de las informantes sobre su capacidad de abordar la temática, a través de una escala de “No lo sé”, “He oído hablar de ello, pero no sé casi nada”, “Sé un poco”, “Lo sé, pero no puedo explicarlo”, “Lo sé y puedo explicarlo”. Adicionalmente, en cada pregunta se pidió a la participante que agregara un comentario en el cuál aborde el tema en cuestión de manera escrita, particularmente si su respuesta es “Lo sé y puedo explicarlo”. Las ocho preguntas asociadas a la categoría C1 y sus respuestas correspondientes dadas por las informantes se muestra en la **Figura 10**.

Figura 10

Respuestas de cada participante a las preguntas de sondeo previo del instrumento FK



Nota. Las preguntas: (1) ¿Conoce los colores que componen la luz blanca?, (2) ¿Entiende el papel de la dispersión de la luz en la formación de un arcoíris?, (3) ¿Sabe qué son las líneas de absorción de la luz?, (4) ¿Sabe qué es un espectroscopio?, (5) ¿Sabe cómo funciona un espectroscopio?, (6) ¿Sabe quién fue Cecilia Payne?, (7) ¿Ha estudiado sobre las estrellas?, (8) ¿Conoce cuál es la composición química de las estrellas?

En este punto empieza a hacerse manifiesto que las informantes se consideraban mayoritariamente no calificadas para abordar algunos de los temas preguntados; dicha situación se hace aún más evidente con la escasa enunciación de comentarios abiertos. Para la pregunta: ¿Conoce los colores que componen la luz blanca?, se obtuvo un total de dos comentarios adicionales. A esta cuestión, por ejemplo, la participante P4 se animó a agregar: “Todos los

colores”; por su parte, la participante P7 intentó dar un paso en favor de la explicación de la naturaleza del fenómeno comentando: “Se compone por el prisma”. Si bien ambas frases aportan muy poca información sobre la manera en que se concibe la naturaleza del fenómeno de la luz por parte de las participantes, en el comentario de P7 se encuentra una conexión con el indicio I3C1, al insinuar un vínculo entre el fenómeno y el instrumento que posibilita la experimentación de la dispersión de la luz. Sin embargo, se evidencia una confusión entre los términos “componer” y “descomponer” cuando se intenta abordar el comportamiento de la luz blanca cuando atraviesa el prisma. A la segunda pregunta, “¿Entiende el papel de la dispersión de la luz en la formación de un arco iris?”, solo se agregó un comentario de la participante P7: “El reflejo del agua y el sol”. Una vez más, a pesar de la limitada información que proporciona el comentario, vuelve a evidenciarse una intención de abordar el fenómeno a través de entender la forma en la que se genera, tal vez asociada desde su experiencia cotidiana. Como añadidura, se evidencia nuevamente una confusión cuando, al intentar explicar cómo se produce el arcoíris se menciona que es a través de la reflexión de la luz del agua en el sol. En las siguientes cuatro preguntas del instrumento FK: ¿Sabe qué son las líneas de absorción de la luz?, ¿Sabe qué es un espectroscopio?, ¿Sabe cómo funciona un espectroscopio?, y ¿Sabes quién fue Cecilia Payne? no se registraron comentarios por parte de ninguna participante. Este hecho puede interpretarse como un impedimento generalizado para comunicar temas relativos a la espectroscopía y su posicionamiento en la HC.

Por otro lado, la cuestión ¿Ha estudiado sobre las estrellas? solo recibió un comentario abierto por parte de la participante P7, la cual menciona: “Sé que existen a millones de años luz, tanto que es posible que las que vemos ahora ya no existan en realidad”. La informante destaca en este comentario una aproximación a algunos aspectos clave en el estudio de la óptica, como la comprensión del ‘año-luz’ como unidad de medida de la longitud y de la naturaleza no instantánea de la propagación de la luz en el espacio, evidenciando así una interpretación sobre la forma en cómo se estudian las estrellas con ayuda de fenómenos ópticos (Payne, 1925) (indicio I2C1). No obstante, la ausencia de comentarios por el resto de las participantes evidencia que, antes de la implementación de la secuencia didáctica SD2, no existía una disposición en las participantes para abordar conceptos de física de la luz, reflexionar acerca de la naturaleza de los mismos. Esta idea se reafirma analizando la información recolectada en los comentarios asociados a la última pregunta: ¿Sabe cuál es la composición química de las estrellas?, dónde, de nuevo, se recolectó solo un comentario por parte de la participante P8. Sin embargo, se trató de una corta anotación:

“Rocas”, lo cual no evidencia alguna descripción o reflexión sobre el tema en cuestión, impidiendo así un enlace con alguno de los indicios propuestos al inicio del presente capítulo.

De esta forma, se evidencia una insuficiente disposición por parte de las participantes a abordar los fenómenos físicos a través de la NOS en el momento previo a la implementación de la secuencia didáctica SD2. Por parte de la participante P7 se presentó la única excepción, pues denota una intencionalidad para explicar fenómenos de la óptica y su naturaleza, aunque se resalta una posible tergiversación en el uso de los conceptos de reflexión, refracción y descomposición.

Posterior a la implementación de la secuencia didáctica SD2, fue desarrollado el instrumento SZ. Este orden no solo permitió evaluar la eficacia de dicha secuencia en la enseñanza de los fenómenos ópticos, sino que fue clave en el registro de información de cada participante sobre la evolución de sus perspectivas con relación a la categoría C1. En este punto, se llevó a cabo una socialización con las participantes para conocer sus percepciones acerca de dos aspectos claves de la secuencia: su experiencia con la construcción y utilización de un espectroscopio casero creado durante la clase, y los temas relacionados a la vida y obra de Cecilia Payne. Al inicio de la discusión fueron propuestas una serie de seis preguntas orientadoras, de las cuales cuatro tenían el objetivo de guiar la discusión hacia temas relacionados a la categoría C1: ¿Cómo funciona un espectroscopio?, ¿para qué sirve?, ¿Cómo explicarías la dispersión de la luz?, ¿Qué papel juegan los elementos en la lectura de líneas de von Fraunhofer? Las otras dos preguntas orientadoras, alusivas al papel de Cecilia Payne como mujer científica, están reservadas para el apartado donde se analizó la información relativa a la categoría C2. Cabe aclarar que la respuesta de dichas preguntas no tuvo un carácter obligatorio en la discusión, por lo cual no hubo registro de todas las participantes.

Una vez iniciado el instrumento SZ, se registró una primera intervención relacionada a la categoría C1 por parte de la participante P2, la cual menciona que “el espectroscopio es un aparato destinado a mirar y analizar la luz. Este nos puede ayudar a medir la intensidad lumínica que tiene esta” (SZ, P2). Este fragmento constituye una información valiosa sobre el progreso de la participante P2 respecto a su disposición de hilar un discurso explicativo sobre la luz y su naturaleza. En la primera oración, la participante P2 denota un reconocimiento del espectroscopio como instrumento de observación del fenómeno de dispersión de la luz y de medición de magnitudes físicas (en este caso, habla de intensidad lumínica). Este análisis, en concordancia con Romero et al. (2016), evidencia por parte de la participante una reflexión acerca de la relación entre

teoría y experimentación, aludiendo de manera particular a la relación de constitución, la cual se refiere al énfasis en la teoría como fundamento de la experimentación y viceversa. A grandes rasgos, esta unidad de análisis es evidencia de un intento por parte de la participante de entender el funcionamiento de los instrumentos y su importancia para la experimentación (Indicio I3C1).

La participante P2 procede a describir el procedimiento que siguió para sus observaciones de la siguiente manera: “Un experimento muy casero que pueden hacer es crear un espectroscopio casero y ver con ayuda de un disco y un filtro cómo se descompone un rayo de luz blanca en diferentes colores dependiendo de la longitud de onda” (SZ, P2). Esta frase, por su lado, complementa las reflexiones sobre el funcionamiento de los instrumentos estableciendo relaciones entre la teoría y la experimentación (Romero et al., 2016). Inclusive se repite la utilización de magnitudes físicas en el discurso, esta vez para conectar un concepto teórico con un fenómeno percibido a través de la observación, como las longitudes de onda siendo percibidas como colores por la participante (Indicio I3C1). Es destacable, de igual forma, que se evidencia un cambio en la participante P2 respecto a su comprensión y explicación de aspectos asociados a la categoría C1, pues se registra por primera vez una unidad de análisis por parte de esta. En este sentido, P2 manifiesta una comprensión del rol del instrumento en la construcción del conocimiento, en la apreciación e interpretación de los fenómenos en cuestión y la formación de las medida y lenguaje para explicar estos.

La siguiente intervención registrada por parte del instrumento SZ relacionable a la categoría C1 fue testimonio de la participante P4:

¿Cómo funciona un espectroscopio de manera sencilla? Primero, captura la luz de una fuente, ya sea de una estrella o una lámpara, después ocurre la dispersión de la luz; la luz pasa por una rejilla de dispersión y lo que hace es separar los componentes de esta, luego forma el espectro, ahí la luz se dispersa en una serie de colores que se forma; es una onda continua similar a la del arcoíris; luego están las líneas espectrales, si la luz pasa por una sustancia, ya sea un gas o un elemento químico, los componentes de estos lo que hacen es absorber las longitudes de onda de la luz y crea líneas oscuras o brillantes en el espectroscopio (SZ, P4).

En esta unidad de análisis, la participante P4 evidencia un orden discursivo propio de las reflexiones acerca de la NOS. Este análisis surge de identificar una estructura en la cual se inicia con una pregunta acerca del funcionamiento del instrumento (“¿Cómo funciona un espectroscopio de manera sencilla?”), seguida de una explicación con la cuál reúne conceptos como dispersión y espectro (I3C1). En una primera instancia, la participante P4 establece una similitud entre una lámpara y una estrella como fuentes de luz; ello evidencia el establecimiento por parte de la informante de un paralelismo entre el experimento realizado y el método mediante el cual se determinó la composición química de la atmósfera solar (Payne, 1925) (I2C1). Por otro lado, destaca la adición al discurso de una explicación sobre la espectroscopía de los elementos químicos y estableciendo autónomamente conexión entre conceptos propios del estudio de esta (gas, absorción) con el fenómeno observado (dispersión de la luz). Esta unidad de análisis permite interpretar que el acercamiento al fenómeno de dispersión de la luz a través de la experimentación brindó a la participante P4 un impulso para generar hipótesis de acerca de un fenómeno observado a partir de los saberes obtenidos durante la clase (I4C1). Un análisis comparativo permite establecer que, respecto a las respuestas registradas por en el instrumento FK, se evidencia un incremento en el registro de evidencia respecto a la categoría C1, por parte de la participante P4, de la comprensión del fenómeno físico abordado, hecho explícito a través de su explicación de cómo se determina la composición de las estrellas con la ayuda de los fenómenos de la luz, mediada por la utilización del espectroscopio.

A continuación, la participante P3 arguye:

Las líneas de von Fraunhofer son muy importantes ahí, ya que son las que nos permiten conocer la composición química de las estrellas. Estas líneas se forman cuando ciertos elementos se encuentran en las atmósferas de la estrella; ya que cada elemento absorbe una longitud diferente de onda, eso hace que cada elemento muestre colores diferentes (SZ, P3).

En este fragmento, la participante P3 complementa la explicación de la participante P4 añadiendo el concepto de líneas de von Fraunhofer y su utilidad en el estudio de la composición química de las atmósferas estelares (Payne, 1925). Adicionalmente, se esboza una explicación sobre el origen de dicho fenómeno utilizando, una vez más, el concepto de longitud de onda abarcado en clases. Adicionalmente, el uso del concepto de color da pie a interpretar que la

participante logra relacionar un fenómeno empírico (color) con conceptos propios del saber disciplinar aprendido. En términos generales, la participante P3 aporta una exposición sobre la importancia de estudiar fenómenos ópticos y sus aplicaciones a la astrofísica con el estudio de las atmósferas estelares (I2C1). La comparativa con los comentarios ofrecidos en el instrumento FK vuelven a evidenciar un cambio positivo en la voluntad por parte de la participante P3 proponer alocuciones verbales donde se abarquen las temáticas disciplinares de la física de la luz y su naturaleza.

En lo que respecta a las participantes P1, P5, P6 y P8, no se recolectó información relativa a la categoría C1 mediante el instrumento SZ, pues decidieron no participar en las preguntas relacionadas a los indicios de dicha categoría. Por ende, no se logran identificar cambios hasta este punto en su percepción de los fenómenos físicos en relación con los resultados del FK. La participante P7 no estuvo presente para la implementación del instrumento SZ por motivos de fuerza mayor ajenos a la presente investigación.

Por último, en los hallazgos contenidos en la categoría C1, se analizarán las respuestas obtenidas durante el instrumento ES. La implementación de dicho instrumento de registro consistió en un diálogo abierto entre los investigadores y las ocho participantes conjuntamente, en un espacio externo a la clase. En favor de guiar la conversación en torno a temas relacionados con las categorías de análisis propuestas para el estudio, se establecieron una serie de preguntas orientadoras: cinco primeras tenían el objetivo de conocer la percepción de las participantes hacia la enseñanza de la física orientada hacia la NOS, mientras las otras cuatro se orientaban a conocer su postura respecto al rol de la mujer en la ciencia. En esta sección nos dedicaremos a analizar la información extraída de la parte de la conversación orientada por el primer grupo de preguntas, reservando el resto de la información para el análisis relativo a la categoría C2.

Respecto a la pregunta orientadora Q1, (¿ ¿Por qué consideras que conocer la HFC en clases de Física puede ayudar (o no) a comprender mejor el conocimiento científico, conociendo el contexto histórico bajo el cual se descubrieron?) la participante P4 fue la primera en intervenir, expresando que “sí, uno entiende como por qué surgen ciertas cosas, teniendo en cuenta los problemas de la época, las dificultades, y puede entender ciertas cosas que están pasando en la actualidad y puede ayudar a desarrollar otras cosas” (ES, P4). Esta declaración da pie a interpretar que la participante P4 ha logrado desarrollar un criterio acerca de la importancia de factores epistémicos y no-epistémicos (Acevedo et al., 2005). De hecho, la relación que la informante

establece entre la HC (problemas de la época y dificultades) y la generación del conocimiento científico se entiende como una evidencia de una reflexión acerca de los procesos de construcción del conocimiento científico (I4C1). La conversación continúa con un comentario de la participante P3, diciendo: “Yo creo que también ayuda para que uno se acuerde de eso. Es decir, para recordar por qué se dio ese conocimiento” (ES, P3). Ella resalta la capacidad de la enseñanza de la física mediada por la HFC como estímulo para el aprendizaje (Izquierdo et al., 2016). Para los investigadores, esta afirmación indica que la participante entiende la HFC como herramienta mnemotécnica que facilita afianzar el saber disciplinar a través de la asociación. Esto representa una evidencia de que existe también una reflexión acerca de la relación entre la naturaleza y la construcción del conocimiento científico (I4C1).

A continuación, la participante P6 interviene en torno a la pregunta orientadora Q2 (¿Cómo te ha ayudado el estudio de la HFC y NOS a cuestionar y analizar críticamente las teorías y descubrimientos científicos?):

Considero que sí aporta, porque pienso que nos hace pensar por qué en ese entonces, en esas épocas en las que se reprimía tanto el pensamiento en la antigüedad, por las personas que salían de esas casillas para explotar su imaginación y su curiosidad; para decir y descubrir ciertas cosas. Incluso, podría ser una forma también de nosotros decir que permanezcamos con creatividad porque eso nos puede ayudar siempre a seguir avanzando (ES, P6).

Esta unidad de análisis, por su parte, representa una reflexión activa sobre la importancia del aprendizaje de la ciencia con enfoque en NOS, en particular en la HC (I4C1). Se interpreta de la oración final del fragmento que la participante P6 considera que la HFC funciona para ella como un factor motivante para generar nuevo conocimiento a través de la práctica científica. Un aspecto relevante adicional es que, al tratarse de la primera unidad de análisis proporcionada por la participante P6, pone en evidencia un aumento en su disposición para asumir un rol activo en las reflexiones sobre la NOS posterior a la implementación de la secuencia SD2. Esto hace pensar que los elementos que constituyeron el diseño de la secuencia proporcionaron un ambiente ameno y cómodo para la adquisición de los saberes epistémicos y no epistémicos que se proponía, lo cual favoreció y motivó reflexiones y la participación de las estudiantes.

A la misma pregunta Q2, la participante P5 agregó brevemente que “también, cómo permite, cómo se pudo o puede evidenciar la nueva innovación, por así decirlo”. Esta aclaración, al igual que la anterior, resalta la importancia de la NOS en la comprensión de los fenómenos físicos (I4C1). Paralelamente, insinúa una conexión entre el aprendizaje de la ciencia mediado por la NOS con la generación de interés hacia el conocimiento científico actual y futuro.

Continuando el análisis de este instrumento, en torno a la pregunta Q3 (¿Cuál consideras que es la relación entre la ciencia y la historia?), la participante P4 aporta su perspectiva:

Todo estudio, todas las ciencias, la matemática, todo tiene una historia y entender la historia, o sea, la ciencia da paso a la historia, por así decirlo. Nosotras no estaríamos en el lugar en el que estamos si la ciencia no existiera y si no se inventara todo lo que se ha inventado y así es como las dos se correlacionan (ES, P5).

Esta reflexión por parte de la participante P4 permite interpretar que existe un entendimiento de la importancia que tiene la historia de la ciencia en el aprendizaje de la física y en la construcción de conocimiento futuro (I4C1), aspectos resaltados por investigadores en el campo de la NOS como Romero et al (2026), Izquierdo et al. (2016) o García-Carmona y Acevedo-Díaz (2015). Como agregado, se evidencia un reconocimiento a la ciencia como motor de las innovaciones sociales y tecnológicas producidas a lo largo de la historia.

A esto, la participante P1 complementa la intervención agregando:

Evolucionar también es pensamiento y por eso puede suceder la innovación, porque todo es diferente. Pero sí, es por eso, porque la historia obviamente necesita de nosotros ¿Por que quién la va a hacer si no somos nosotros? Entonces, en algún momento también vamos a ser parte de la historia, ya sea las que se dediquen a algo de ciencias exactas, pero en algún momento lo van a estar y es importante que conozcan su pensar y que todo se basa en eso, nuestras ideas de basan a partir de otras (ES, P1).

Aquí se constituye la primera intervención de la participante P1 en torno a temas relativos a la categoría C1. En ella se evidencia una fuerte apreciación por asuntos inherentes a la construcción histórica y colectiva del conocimiento, tal como lo resaltan García-Carmona y

Acevedo-Díaz (2015). Los investigadores consideran que la participante P1 utiliza la pregunta retórica “¿Por qué quien la va a hacer si no somos nosotros?” y continua con su propia respuesta como recurso discursivo para hilar una postura crítica y reflexiva acerca de la importancia de estudiar y producir nuevo conocimiento científico sin dejar de lado la importancia de los referentes históricos en la comprensión de este (I4C1).

Avanzando con la información registrada como respuestas a la pregunta Q4 (¿De qué manera crees que un enfoque histórico y epistemológico en las clases de ciencias puede fomentar la curiosidad y reflexión?), la participante P5 opinó:

Creo que ayuda mucho en el aprendizaje porque, por ejemplo, las clases son muy monótonas a veces. Entonces es muy bueno dar nuevos aportes al aprendizaje, es decir, por ejemplo, a través de la historia yo puedo estar más atenta, comprender los sucesos y por qué se dieron. (ES, P5)

En esta intervención, la participante P5 aporta una importante dimensión a la conversación, hablando de las implicaciones didácticas de la NOS y la HFC, en el mismo sentido propuesta por Izquierdo et al. (2016). Desde su experiencia, la informante manifiesta que las secuencias didácticas implementadas durante el estudio generaron una mejora en su atención durante las clases de física, a la par de influir de manera positiva en su comprensión de la NOS (I4C1). Este hecho es reforzado por la participante P4 que afirma:

Además, uno como que siempre le ha tenido miedo o no le ha gustado la matemática. Todo lo que tenga que ver con las matemáticas, desde pequeña, yo he visto que a mucha gente no le agrada todo ese tema. Entonces, que se metan por ese lado matemático y teórico, pero que se metan también por el lado de la historia, eso llama más y como que a uno lo atrapa más eso. (ES, P4)

En donde se realza que, según la participante P4, el enfoque histórico en las clases de física consigue hacer más atractiva la materia, y, por ende, mejora su disposición hacia el aprendizaje de esta. En la misma línea se posiciona la participante P6, quien además agrega:

Creo que influye mucho pensar o tener curiosidad frente a eso. Porque muchas veces, por ejemplo, a nosotras con lo de la especialidad y todo eso, hay veces en las fórmulas que sacamos, la profe nos dice “¿quieren saber de dónde salió esa fórmula?” Entonces es como la curiosidad de hasta esa fórmula, pero ¿Por qué crearon esa fórmula o por qué llegaron hasta ese punto? (ES, P6)

En su intervención, la participante P6 manifiesta lo importante que considera que las clases de ciencias estén acompañadas de reflexiones del origen y propósito del saber científico (I4C1). Esto puede interpretarse como una postura crítica por parte de ella sobre la didáctica de las ciencias, proponiendo la perspectiva de la NOS como estrategia de enseñanza, aspecto que constata la propuesta misma de la presente investigación. Por su parte, la participante P8 aportó una perspectiva diferente puntualizando:

Pienso también que es la forma en cómo lo enseñan o cómo quieren dar a entender la historia. Porque hay veces en las que lo haces muy aburrido o que no llaman mucho la atención. Entonces es también dar a entender ese contexto, tanto las fórmulas o la historia de una forma más didáctica. (ES, P8)

La anterior declaración resalta por ofrecer un contrapunto en la discusión, matizando el hecho de que la inclusión de un componente histórico en la clase de física no asegura en sí misma la capacidad de reflexionar sobre la NOS. Al hablar sobre lo “aburrido” o “que no llama mucho la atención”, la participante P8 remarca la necesidad de que el contenido no-epistémico que el maestro planea ofrecer al estudiante atraviese un proceso de recontextualización, tal como lo propone Ayala (2008). Además, este fragmento constituye la primera unidad de análisis proporcionada por ella, en la cual se evidencia un reconocimiento a la importancia de generar conexiones significativas entre los componentes epistémicos y no epistémicos de la NOS (I4C1), aspecto propuesto por García-Carmona (2012) y central en este proyecto de investigación. En otras palabras, es un proceso de adecuación de los contenidos de la HC a los contextos escolares, tal como se ha incluido en las secuencias SD1 y SD2 diseñadas e implementadas.

Como último aporte de las informantes en el marco de la Q4, la participante P3 interviene concluyendo que:

Siento que las clases así le cambian a uno como la rutina de las otras clases teóricas y, obviamente, eso termina llamando la atención por la física. Eso hace que la gente busque más y termine gustándole la física. Los lleva a la curiosidad. (ES, P3)

En dicho fragmento vuelve a evidenciarse el factor del atractivo que la perspectiva de la NOS ofrece a las clases de física. Se entiende que para la participante P3 existe una sensación de desconexión respecto al saber disciplinar que, según manifiesta la informante, puede ser subsanada a partir de la inclusión a las clases de reflexiones sobre la NOS y la HC (I4C1).

Por último, la participación de las estudiantes decayó para la pregunta Q5 (¿Qué otro tipo de temas históricos o epistemológicos de la ciencia te hubiese gustado explorar en clase?), donde solo se registró una unidad de análisis referente a la categoría C1. En esta breve intervención, la participante P4 expresó que “me gustaría la física cuántica. Me gustaría conocer al menos las bases o de qué trata bien eso” (ES, P4).

Este interés por aprender la naturaleza de toda una rama del conocimiento da evidencia de que se logró incentivar a la participante P4 a tomar posición sobre la importancia del aprendizaje de la física a través de la NOS. Por parte de los investigadores, se sugiere la planeación de una propuesta de enseñanza de la física moderna transversalizada por la NOS como posible tema para futuras investigaciones.

7.2. Pensamiento crítico en relación con la epistemología feminista de las ciencias.

La categoría C2 emerge como un foco de investigación relevante y pertinente en la enseñanza de la Física enmarcada en la contemporaneidad. Este apartado busca analizar evidencias de desarrollo de pensamiento crítico (Facione, 2007) por parte de las participantes, al considerar y reflexionar sobre las perspectivas feministas en la ciencia, así como el papel de las mujeres en la construcción del conocimiento científico a lo largo de la historia. Al examinar esta categoría, se espera comprender cómo la integración de la EF en la enseñanza de la Física puede influenciar en la habilidad de las estudiantes para tomar postura crítica acerca de los roles de género en la ciencia, guiándoles hacia una práctica científica más reflexiva, sensible y socialmente comprometida. A

continuación, se enlistan los tres indicios propuestos que guiarán la clasificación de las unidades de análisis en el marco de la categoría C2 y sus respectivos indicios de I1C2 a I3C2 (*Tabla 3*).

En favor de este análisis, se destinaron los siguientes instrumentos de recolección: Reflexiones Escritas (RE) implementado durante la secuencia didáctica SD1; y Formulario KPSI (FK), Socialización (SZ) y Entrevista Semiestructurada (ES), implementados durante la secuencia didáctica SD2. Por su parte, los indicios identificados para esta categoría se muestran en la Tabla 3. En adelante, se exponen las unidades de análisis registradas por cada instrumento y que, de acuerdo con los indicios anteriormente descritos, evidencian la toma de postura crítica respecto al rol de la mujer en la historia y construcción del conocimiento científico.

Tabla 3
Indicios de la categoría C2.

<i>Categoría</i>	<i>Indicio</i>	<i>Código</i>
<i>Pensamiento crítico con relación a la epistemología feminista de las ciencias.</i>	Reconoce y reflexiona sobre el contexto histórico, social y cultural en la construcción del conocimiento científico científicos.	I1C2
	Resignifica el rol de la mujer científica.	I2C2
	Identifica los sesgos dados por los estereotipos de género en la construcción del conocimiento científico.	I3C2

Nota. Recuperada de la matriz de análisis.

Se empieza el ejercicio de análisis con la información registrada por el instrumento RE, en el cual se les pide a las participantes tomar postura acerca del rol de Émilie du Châtelet en la historia y sus aportes a la física. La primera reflexión para analizar fue propuesta de manera conjunta por las informantes P1 y P2 quienes manifiestan:

Émilie du Châtelet tuvo resistencia, debido que en la época no eran reconocidos los aportes de la mujer en la ciencia. Aun así, ella tuvo la motivación de investigar porque lo más importante no es la aprobación, sino el interés por conocer. Consiguiendo así que se transformara la visión de la ciencia y el papel de la mujer en el futuro, motivando a las

siguientes generaciones a arriesgarse y romper con los estigmas sociales establecidos (RE, P1 y P2).

En este fragmento, las informantes P1 y P2 se posicionan respecto al aporte de Émilie du Châtelet como referente femenino en la historia de la física, desde una perspectiva cercana a la propuesta por Musielak (2014). A su vez, se interpreta en su comentario un reconocimiento a los obstáculos que, como mujer científica, experimentó respecto a la aprobación de su propuesta (I3C2). En su última oración, las participantes P1 y P2 dirigen su análisis de la biografía de Émilie du Châtelet como una oportunidad para repensar el paradigma científico (I2C2) para superar, con miras a futuro, los sesgos de género que este lleva consigo (I3C2). Esta unidad de análisis en el instrumento RE permite poner en evidencia el impacto que tuvo la EF para ambas informantes en su habilidad de PC acerca de la NOS.

Otro punto es que las participantes P3, P4 y P6 ofrecieron de igual forma un comentario colectivo donde enfatizan que es “inaudita la forma en la que se minimiza su logro, no le dan los méritos necesarios y solo afirman que fue Newton y olvidan a du Châtelet” (RE, P3 y P4). Este fragmento, pese a lo breve, evidencia una disconformidad por parte de ellas hacia los sesgos de género que han permeado históricamente al conocimiento científico (Rubio, 2023). A su vez, se esboza una capacidad de análisis propia del PC (Facione, 2007) al relacionar la subrepresentación de la figura de du Châtelet en la HFC con la infravaloración a los logros y hallazgos provocada por los prejuicios de género (I3C2).

Además, se registraron también comentarios individuales. El primero de ellos provino de la informante P5, la cual consideró lo siguiente:

Los avances y aportes a la física, y a la ciencia en general, son constantemente atribuidos a los hombres. Sin embargo, en lo aprendido en las clases de física se pudo comprender, aprender e interactuar con la historia de mujeres científicas, sobre cuál fue su rol y el avance en la sociedad y por qué no fue reconocido. Para agregar, es fundamental comprender que las mujeres somos capaces de innovar, cambiar y explorar en el campo de la ciencia, a pesar de que el machismo implantado y la mentalidad misógina es muy evidente y se ha logrado implantar o posicionar como algo normal. Las mujeres tenemos la resistencia y la disciplina,

al igual que los hombres, que se necesita para aportar al cambio, a la inspiración, a la pasión y el descubrimiento de algo que pueda contribuir al desarrollo de la sociedad. (RE, P5)

En esta reflexión, la participante P5 muestra una destreza verbal, que se evidencia en el uso de conectores para cohesionar distintas ideas, el orden de estas y el correcto uso de signos de puntuación. Por otro lado, se entiende que, a través del comentario, se expone un orden del discurso (Osborne, 2010) que aborda la invisibilización de los personajes femeninos en la HFC. Dicha exposición se ejecuta conectando su percepción individual acerca de la ciencia con lo aprendido durante la SD1. De manera seguida, extrapola esta reflexión hacia su mundo de la vida (Husserl, 1935), derivando en una fuerte crítica a los sesgos de género, machismo y misoginia que percibe a nivel social en su entorno. Esto da pie a interpretar que existe en la participante P5 una disposición a repensar su entorno a través de un PC mediado por la EF (I3C2), precisamente el propósito provisto a través del diseño de este instrumento.

También, la participante P7 aportó su reflexión sobre que “en la educación deberían de desmentir la afirmación de que las fórmulas finales son de Newton, yo no la conocía antes a du Châtelet y deberían de enseñarla antes y erradicar esos actos misóginos de antes”. De esta forma, se vuelve a evidenciar una crítica a los sesgos de género que la informante considera presentes aún en la didáctica de la ciencia. Así mismo, relaciona la práctica de enseñanza de las ciencias con la eventual perpetuación de la misoginia y la brecha de género en las mismas, sugiriendo la reivindicación del papel de du Châtelet como una posible ayuda para la superación de dichos sesgos.

En la misma línea encontramos a la participante P8, quien agregó que “los profesores no enseñan la ciencia y solo hacen resumen de los científicos involucrados y apenas mencionan a las mujeres” (RE, P8). Desde el punto de vista de los investigadores, esta crítica a la enseñanza de la ciencia es reflejo de una disposición por parte de las informantes a la inclusión de reflexiones sobre la HC mediadas por la EF. Además, que retrata la presencia de la habilidad de autorregulación que evidencia ideas concebidas desde el PC, en tanto comunican sus puntos de vista y experiencias de manera respetuosa pero directa y argumentada (Facione, 2007). Adicionalmente, las estudiantes aprecian e invitan a que sus docentes tengan presente sus intereses y necesidades con el fin de generar estrategias y espacios de enseñanza y aprendizaje que trasciendan las paredes del aula y no

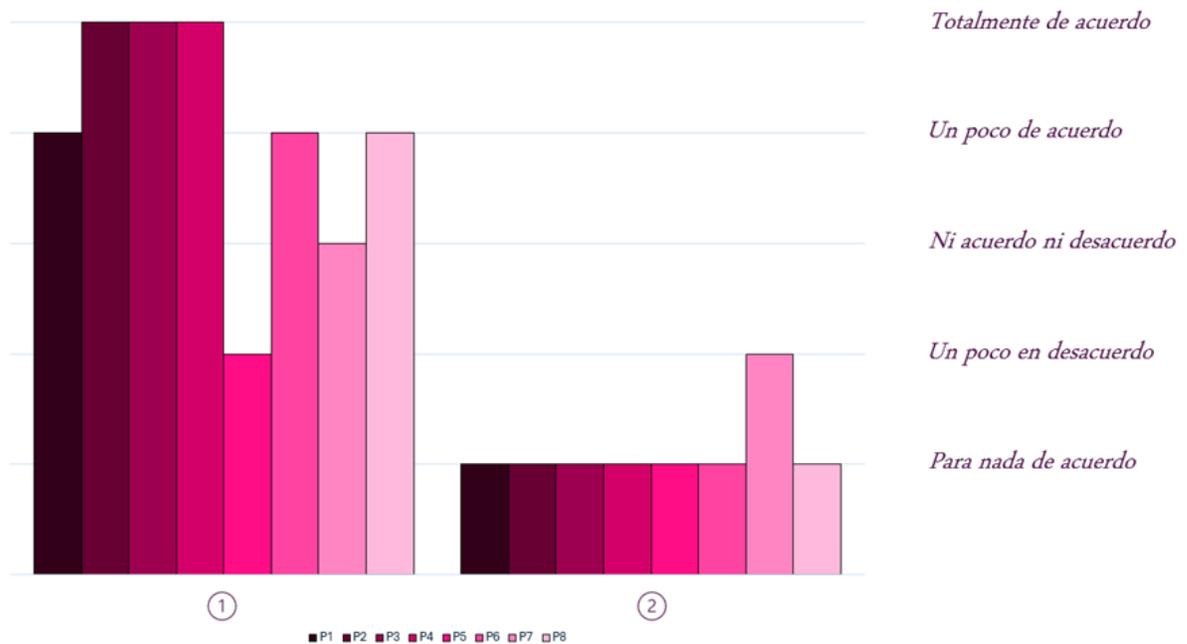
se queden en un tipo de historia, como por ejemplo, en donde únicamente los hombres tengan un papel.

Continuando con el ejercicio de análisis, se procede a exhibir la información registrada en el momento previo a la implementación del SD2 mediante el instrumento FK. Dicho instrumento consistió en la implementación de un cuestionario de diez preguntas con el objetivo de sondear conocimientos y percepciones a priori de las participantes sobre la óptica y la historia del personaje de Cecilia Payne. Las primeras ocho preguntas aludían al conocimiento sobre la naturaleza de la luz, fenómenos asociados, la espectroscopía y a los aportes científicos de Cecilia Payne, por lo cual sus respuestas fueron analizadas en el apartado dedicado a la categoría C1 de la presente investigación. Por otro lado, las dos últimas preguntas se relacionaban estrechamente con la percepción del papel femenino en la producción de conocimiento científico, lo cual permitió relacionar sus respuestas con la categoría C2 y, en consecuencia, serán analizadas a continuación.

Las opciones de respuesta permitían a la participante determinar su posición frente a cada pregunta en una escala desde “Para nada de acuerdo”, “Un poco en desacuerdo”, “Ni acuerdo ni desacuerdo”, “Un poco de acuerdo”, hasta “Totalmente de acuerdo”. Adicionalmente, se le permitía opcionalmente a cada participante argumentar su respuesta con un comentario depositado en un cuadro de texto. Se presenta la **Figura 11** con las respuestas de cada participante a las dos preguntas dirigidas a la categoría C2 en el instrumento FK.

Figura 11

Respuestas de cada participante a las preguntas de sondeo previo del instrumento FK enmarcadas en la categoría C2



Nota. Las preguntas: (1) ¿Cree que los aportes de mujeres en la ciencia han contribuido a nuestra comprensión del mundo?, (2) ¿Piensa que las mujeres científicas son a menudo reconocidas por sus logros en la historia?

Un primer análisis derivado de esta información preliminar por parte de los investigadores es la tendencia de las participantes hacia el entendimiento de la contribución de la mujer a la ciencia como eje importante en la lectura y análisis del mundo actual. Además, se evidencia un acuerdo en que, por motivos que se entenderán a medida que se desarrolle el presente análisis, existen sesgos respecto a la aprobación de los aportes de la mujer en la historia de la ciencia.

Respecto a los comentarios complementarios que cada participante pudo adjuntar a su respuesta, para la pregunta: ¿Cree que los aportes de mujeres en la ciencia han contribuido a nuestra comprensión del mundo?, se registraron comentarios escritos por parte de todas las participantes. Para empezar, la participante P1 expresó que “las contribuciones de la mujer en el campo de la ciencia han sido relevantes ya que ofrece otra visión de lo que estaba fundamentado como verdad absoluta”. En dicho comentario, se interpreta en la participante P1 un reconocimiento de la influencia del contexto sociocultural en la producción de conocimiento científico (I1C2). Se entiende que la toma de postura respecto a la naturaleza progresiva y cambiante de la ciencia como una evidencia de la habilidad de PC, en el sentido se presentan y reconocen los argumentos que propone Facione (2007).

Por otro lado, la participante P5 profundiza con su comentario señalando:

Las mujeres han ejercido y tomado un gran papel en la historia de la humanidad, sin embargo, no se ha evidenciado de manera contundente todas y cada una de las contribuciones que realizado porque su trabajo usualmente era reconocido como trabajo de los hombres o de algún personaje en específico. Sin embargo, las contribuciones de las mujeres sí han sido importantes para el desarrollo y evolución de la humanidad y su relación con el entorno. (RE, P5)

Dicha intervención ofrece una reflexión acerca de los roles de género en la ciencia y los obstáculos que representan para las mujeres que desean implicarse en disciplinas científicas (I3C2). Sin embargo, con su última oración, la informante P5 anota que el rol de la mujer en la ciencia ha sido relevante en las concepciones que se desarrollan sobre la ciencia. Para los investigadores, este fragmento traza a la EF como elemento sustancial para la evolución de la sociedad, en el sentido que la participante reconoce y reflexiona sobre la HC y el rol sociocultural que ha generado brechas en la participación de mujeres y minorías en la construcción del conocimiento académico. Además de sentir que, al reivindicar los aportes subrepresentados de mujeres, en esta alusión de manera particular, las niñas y jóvenes encuentran un espacio en donde reconocerse a sí mismas con capacidades y habilidades propias de las ciencias indistintamente de su sexo o género.

Finalmente, la participante P7 atiza que “no solo ha habido hombres científicos si no también mujeres ya ambos han generado cambios muy aportativos en la ciencia que nos han ayudado a llegar a donde estamos ahora” (RE, P7). Este testimonio reconoce la contribución de las mujeres científicas al avance del conocimiento científico sin dejar de reconocer los aportes de personajes masculinos. Esto refleja un PC al reflexionar sobre la desigualdad de género en el ámbito científico, pero promulgando una equidad al respecto. De igual forma, la participante evidencia un entendimiento básico de las implicaciones que el contexto histórico y social tiene sobre la construcción del conocimiento científico (I1C2), al reconocer activamente la presencia y aportes de mujeres en la ciencia a lo largo de la historia.

A partir de la pregunta: ¿Piensa que las mujeres científicas son, a menudo, reconocidas por sus logros en la historia?, se identificó otro conjunto de comentarios abiertos que constituyeron

otro bloque de unidades de análisis relativas a la categoría C2. El primer ejemplo de ello fue la intervención de la participante P1:

Las mujeres siempre han tenido limitaciones, ya que la desigualdad está presente desde hace siglos. Solo se le dará el reconocimiento que se merece a la mujer, cuando aceptemos que el género es algo irrelevante porque la cuestión es sobre ciencia. (RE, P1)

Donde, en un primer lugar, se interpreta un entendimiento de las consecuencias de la brecha de género para las niñas y mujeres que han pretendido hacer ciencia a lo largo de la historia (Rubio, 2023) (I3C2). Seguidamente, cuestiona la objetividad de los roles de género en ciencias, evidenciando así una voluntad para resignificar y reivindicar los aportes de las mujeres científicas (I2C3). Por su parte, la participante P2 menciona:

Las mujeres en todo ámbito nunca han sido bien reconocidas como realmente lo merecen, especialmente en la ciencia, los créditos de sus aportes han sido dados a sus parejas, lo peor de todo es que son de los aportes más importantes. Por ejemplo, grandes aportes en la astronomía los han hecho mujeres a las que les ponían ciertos trabajos 'vagos' porque eran 'fáciles' y cuando encontraban algo importante les robaban los créditos. (RE, P2)

Este testimonio de la participante P2 presenta una reflexión crítica sobre la falta de reconocimiento histórico de las mujeres en la ciencia, lo que sugiere una consideración de la informante sobre la desigualdad de género en el ámbito científico. Este comentario, además, refleja una comprensión del vínculo entre el contexto histórico y la concepción del conocimiento científico (I1C2), al identificar la subvaloración de los logros de las mujeres y la atribución injusta de créditos a sus personajes masculinos. Destaca, según el análisis de los investigadores, que la participante P2 aborde el sesgo de género en la ciencia como una afectación sistemática al trabajo de las mujeres científicas a lo largo de la historia (I3C2). Por otro lado, para la participante P3 dice que “todos esos nombres de las científicas con sus grandes descubrimientos han sido olvidados y opacados por la sociedad, atribuyéndosele sus aportes a otros hombres o ni siquiera enseñando sobre ellas en el colegio” (RE, P3). Dicho testimonio da pie, de nuevo a entender por parte de la participante P3 una reivindicación el rol de los personajes femeninos en la HFC, históricamente infravalorados

(I3C2). A parte, la informante retoma la crítica a la enseñanza de la ciencia, reclamando el bajo protagonismo que se le brinda al papel de las mujeres científicas. En relación con esto, las participantes P4 y P7 aportaron desde enfoques muy parecidos, considerando que “las mujeres científicas son poco reconocidas en esta sociedad y aún más antes, aunque se han dejado atrás varios pensamientos opresivos, todavía falta mucho por cambiar. Se les debe dar la importancia que merecen por sus descubrimientos y aportes”, y que “actualmente se han mejorado los reconocimientos a las mujeres en la ciencia, pero aun a que mejor en este aspecto mucho y mucho antes ni siquiera una mujer era reconocida como científica”, respectivamente (ES, P4 y P7).

Ambos testimonios abordan la falta de reconocimiento histórico de las mujeres en la ciencia y resaltan la importancia de valorar equitativamente sus contribuciones al campo científico (I1C2). Esto refleja un pensamiento crítico al cuestionar los sesgos de género presentes en la construcción del conocimiento científico (I3C2). La participante P4, deja en evidencia su percepción de que las mujeres científicas fueron poco reconocidas por la sociedad en épocas pasadas, e incluso en la contemporaneidad. De esta forma, reconoce la necesidad de dar a las mujeres científicas la importancia que merecen por sus descubrimientos y aportes, lo que indica una reflexión sobre el rol de la mujer científica (I2C2). Por su parte, la participante P7 plantea que se han mejorado los reconocimientos a las mujeres en la ciencia, aunque no lo suficiente para garantizar una reducción significativa de la brecha de género. Este análisis refleja una conciencia más aguda de los avances recientes en la visibilidad de las mujeres científicas y su contribución al campo de la ciencia (I2C2).

Al finalizar de la secuencia didáctica SD2, se implementó el instrumento SZ. Esta secuencialidad hizo posible el análisis de la influencia que la secuencia SD2 tuvo en las participantes sobre asuntos ligados a la C2. El instrumento en cuestión constó de una socialización por parte de las participantes sobre sus perspectivas generales en torno a la secuencia didáctica SD2. El enfoque de dicha socialización apuntó particularmente a la experiencia de prácticas científicas con fenómenos asociados a la luz (cuyos testimonios ya fueron analizados en el apartado de hallazgos relacionados a la C1) y a las reflexiones surgidas a partir del estudio de la biografía de Cecilia Payne. Al inicio de la discusión fueron propuestas una serie de seis preguntas orientadoras, de las cuales cuatro tenían el objetivo de guiar la discusión hacia temas relacionados a la categoría C1. Las otras dos preguntas orientadoras, cuyo objetivo fue registrar información respecto a la C2, fueron: ¿Qué piensas de los procesos que tuvo que vivir Cecilia Payne en la construcción y validación de sus aportes a la ciencia?, y ¿cómo describirías la influencia de Cecilia

Payne, como mujer científica, en la perspectiva sobre la mujer en la ciencia y la sociedad? Es de resaltar que la respuesta de estas preguntas tuvo carácter opcional.

La primera unidad de análisis registrada durante el instrumento SZ vino por parte de la participante P1, quien dijo:

Nuestro punto de vista es que, pese a los tiempos en que estuvo y del patriarcado, que se sigue viviendo en verdad, pero que en ese tiempo estaba mucho más arraigado, su aporte [de Cecilia Payne] no solo fue científico sino en que las mujeres que quieren ser físicas o astrónomas tienen esa apertura entre la desigualdad, donde los hombres son los científicos. Pues ella demostró que los puede igualar o superar. Se vio en lo que concluyó de las estrellas y en que las mujeres son igual de capaces que los hombres, y más allá del experimento, fue una nueva oportunidad para que las mujeres se les facilite más en las generaciones futuras a su época (SZ, P1).

Este testimonio ofrece una reflexión sobre el aporte de Cecilia Payne a la ciencia y su impacto en su percepción acerca del rol de las mujeres en el campo científico. En primer lugar, reconoce el contexto histórico y social en el que vivió la científica, destacando la presencia del patriarcado y la desigualdad de género en ese tiempo (I1C2). Esto muestra un avance en cuanto al PC de esta informante sobre el papel de los factores externos en la construcción del conocimiento científico y en la limitación de las oportunidades para las mujeres en la ciencia. En un sentido parecido, la participante P5 continuó esta reflexión anotando:

También hay que hablar de por qué no reconocíamos a Cecilia Payne y al trabajo de las mujeres en general; porque no nos incentivan ni nos muestran esos aportes que han creado ellas y que han hecho que la evolución y el desarrollo de la ciencia sea tan importante. (SZ, P5)

Este aporte de la participante P5 aborda la falta de reconocimiento histórico del trabajo de mujeres científicas, como Cecilia Payne, y reflexiona sobre las posibles razones detrás de esta falta de reconocimiento. En primer lugar, identifica la influencia de la enseñanza de la ciencia en la falta de visibilidad de los aportes de las mujeres científicas (I1C2). Esto evidencia, desde la perspectiva

de los investigadores, la toma de postura crítica por parte de la participante P5 hacia los procesos educativos y su potencial utilidad en la superación de la brecha de género en la ciencia. Adicionalmente, el testimonio destaca la importancia de visibilizar los aportes de personajes científicos femeninos en la historia para comprender la evolución y el desarrollo científico en su totalidad (I2C2). Esto sugiere una reevaluación del rol de las mujeres en la ciencia y la necesidad de incluir sus historias en el aula en favor de una comprensión más completa de la HFC.

Por su parte, la informante P6 ofreció una narrativa más extensa sobre diversos sucesos en la carrera científica de Cecilia Payne de la siguiente manera:

Como nos habían dicho, ella [Cecilia Payne] fue la que descubrió de qué estaban compuestas o de qué se constituían las estrellas. Estudió en Massachusetts, pero por la misoginia que se vivía en esa época, no se le otorgaba títulos universitarios a ninguna mujer. Entonces ella decidió irse de este país [Reino Unido] a Estados Unidos a estudiar en Harvard porque, de cierta forma, tenía mejor oportunidad siendo mujer. Aunque al estudiar en Harvard tampoco la tenían muy en cuenta que digamos, pero si un poco más que en el otro, ya que en esa época podía estudiar, pero no le daban un título como tal. Después de lograrlo y seguir insistiendo, consiguió ser la primera mujer en dirigir un departamento en Harvard que era el de Astronomía; pero no le pagaban lo mismo que les pagaban, por ejemplo, a sus compañeros hombres. Cuando descubrió que las estrellas se componían de helio e hidrogeno, la tomaron como un aporte ridículo, casi imposible, incluso Russell le dijo que dijera en su tesis que su aporte era casi imposible de comprobar. Él [Russell] fue el mismo que tiempo después apoyó la idea que compartió Cecilia. (SZ, P6)

Este discurso presenta un recuento detallado sobre las experiencias de Cecilia Payne, presentados en la recontextualización hecha en la secuencia didáctica SD2, resaltando los desafíos que enfrentó debido a la discriminación de género en la sociedad y en el ámbito académico de la época (I1C2). Esto da pie a considerar que se estableció un PC de parte de la participante P6 al analizar y explicar los factores externos que influyeron en la construcción del conocimiento científico y las limitaciones impuestas a las mujeres en el campo científico (I3C2). Esto sugiere una percepción de los estereotipos de género como causa de la invisibilización sistemática de los

logros de las mujeres en la ciencia, destacando así la importancia de abordar estos sesgos para promover la equidad de género en el campo científico (I2C2).

En última instancia durante la ejecución del instrumento SZ, la participante P8 se animó a declarar que “podemos decir que el legado que ella [Cecilia Payne] dejó en la ciencia es que las mujeres puedan romper la barrera de género y que puedan seguir estudiando carreras en el ámbito científico”. De esta manera, muestra un reconociendo del legado de Cecilia Payne en la ciencia, destacando el impacto de su historia en la ruptura de brecha de género en el campo de la ciencia. La participante P8 reflexiona sobre el significado del trabajo de Payne y cómo su influencia en la ampliación oportunidades educativas y profesionales para las mujeres en la ciencia (I1C2). Este reconocimiento del contexto histórico y social en el que operaba la científica demuestra, a la vista del presente análisis, una comprensión de las barreras estructurales que enfrentaban las mujeres en el campo científico, una necesidad en la superación de estas y la importancia de fomentar entornos inclusivos y equitativos en el campo científico.

Finalizando el ejercicio de análisis, se procede con la presentación e interpretación de los hallazgos registrados a través del instrumento ES. En este diálogo final con las participantes, se buscó obtener información más extensa acerca de las sensaciones generadas con la implementación de las secuencias SD1 y SD2. Para ello, se propuso una serie de cinco preguntas orientadoras dirigidas a todas las participantes que encausarían el diálogo hacia reflexiones relativas a la C1 (preguntas de Q1 a Q5), las cuales fueron descritas en el apartado de hallazgos de dicha categoría de análisis. Por otro lado, con el objetivo de registrar información vinculada a la categoría C2, se destinó un conjunto de tres preguntas orientadoras dirigidas a todas las participantes (preguntas Q6 a Q8). Paralelamente, un conjunto de seis preguntas específicas (respectivamente: QP1, QP2, QP5, QP6, QP7, y QP8) dirigidas a una de las participantes en particular, aunque con posibilidad de retroalimentación por parte de las siete restantes.

Respecto a la pregunta orientadora Q6 (¿Cómo describes la influencia, tanto de Cecilia Payne como de Émilie du Châtelet, en la perspectiva que ahora tienes sobre la ciencia y el rol de la mujer en ella?), la primera respuesta corrió por cuenta de la informante P2, quien mencionó:

Fue algo muy motivador, porque a uno siempre le enseñan como “no, que Albert Einstein; no que Newton” y siempre son hombres. Entonces uno dice “no pues, una mujer qué va a alcanzar a llegar hasta ese punto de algo ‘super wow’. Por ejemplo, yo lo veía así antes

[...], yo quiero estudiar algo de ciencias y siempre me he comparado mucho y he dicho “no pues, yo que voy a ser capaz de llegar a un nivel allá”, más que todo porque a mí me han dicho que hay muchos más hombres que mujeres en las clases de esas carreras. Entonces uno es como “no pues, yo para qué lo voy a intentar”, pero verlas a ellas y ver que sí lograron algo a pesar de que en su momento no las valoraron tanto fue muy bonito y motivador. (ES, P2)

El testimonio de la participante P2 refleja una reflexión sobre la importancia que, desde su perspectiva, tuvo el conocer los aportes de Cecilia Payne como mujer científica en la percepción de las posibilidades de las mujeres en la ciencia. La participante P2 reconoce el efecto motivador de conocer la historia de Payne y cómo esto desafía las percepciones tradicionales sobre las contribuciones de las mujeres en el campo científico (I1C2). Al reflexionar sobre su propia trayectoria educativa y profesional, la participante P2 reconoce la presencia de estereotipos de género en la percepción de las capacidades de las mujeres en las ciencias y cómo el conocimiento de las contribuciones de Payne desafía estos paradigmas (I2C2). Al destacar el impacto motivador de aprender sobre la historia de Payne, este testimonio resalta la importancia de visibilizar y celebrar, según la lectura de los investigadores, los logros de las mujeres científicas para promover una cultura científica más inclusiva y equitativa.

En este momento, el entrevistador le plantea a la participante P2 la pregunta específica QP2 (¿Cómo te gustaría aportar en un futuro para que chicas interesadas en la ciencia en generaciones futuras, posteriores a la tuya, se motiven a estudiarlas?), dirigida a ella debido a su manifiesta intención de iniciar una carrera profesional como Astrónoma. A esta cuestión, responde:

Yo lo veo más que todo por su contexto histórico que en ese momento no les permitía. Es como ese pensamiento de que «la mujer no puede y ya», solo lo he visto siempre como que las oprimen. Pero la historia nunca me ha dicho que ellas no se sintieran suficientes. Ellas simplemente hacían sus estudios y no se los valoraban, pero ellas lo lograban. Entonces no es como que me haya sentido muy identificada en ese sentido. [...] A mí me gustaría mucho hacer charlas sobre divulgación científica. Hacer esas charlas, pero con más jóvenes, especialmente mujeres, para darles esa motivación de que realmente sí se puede y que no

hay un imposible. Que sea ahora o en el futuro, se les va a ser reconocido su trabajo. (ES, P2)

En esta unidad de análisis, la participante P2 aborda el papel del contexto histórico en la limitación de las oportunidades para las mujeres en la ciencia y la percepción de su propia identidad como aspirante a astrónoma en relación con estas limitaciones. Al reflexionar sobre sus experiencias personales, la participante señala que, si bien no se ha sentido directamente afectada por las limitaciones históricas impuestas a las mujeres en la ciencia, existe la necesidad de reconocer y abordar estas barreras para promover la equidad de género en el ámbito científico (I2C2). Para los investigadores, es resaltable también la voluntad de la participante P2 por contribuir a la divulgación científica y motivar a jóvenes, especialmente a las mujeres, a seguir carreras en ciencia. Este interés demuestra en la informante P2 un compromiso con la promoción de la inclusión y la diversidad en la ciencia, así como del empoderamiento de las mujeres en este campo (I3C2). Ofrecerse como modelo a seguir y compartir su propia experiencia para inspirar a otras mujeres a seguir carreras en ciencia, la participante contribuye al cambio de percepciones y actitudes hacia las mujeres en la ciencia y promueve una mayor equidad de género en este ámbito.

Al rededor a la pregunta específica QP8 (¿Crees que es importante que cada vez más mujeres se animen a seguir carreras de STEM? ¿Por qué?), se registra una discusión iniciada por la participante P8 cuando sentencia que cree “que se desperdiciarían muchas oportunidades para un avance”. Tal afirmación refleja una conciencia acerca de las implicaciones de la brecha de género en el avance (científico y tecnológico principalmente), así como la necesidad de reducirla para aprovechar todo el potencial humano en estas áreas (Blázquez, 2012). Al reconocer que la persistencia de la brecha de género podría limitar el progreso científico, la participante identifica los sesgos dados por los estereotipos de género en la construcción del conocimiento científico y destaca la importancia de abordar estos sesgos para garantizar un desarrollo científico equitativo y sostenible (I3C2). La discusión es continuada por la participante P2 quien sostiene:

Pienso que sí, porque a pesar de que está esa incertidumbre de no ser capaz, si a uno realmente le apasiona y es lo que le gusta, es muy bueno, muy chévere y bonito de que puedan lograr ese sueño y no quedarse en que “las mujeres allá no son reconocidas, mejor estudio otra cosa, algo que me de plata y ya”. (ES, P2)

Donde, según consideran los investigadores, la participante P2 se instala en una perspectiva optimista sobre el potencial de las mujeres en la ciencia, destacando la importancia de la pasión y el interés personal en la búsqueda de logros científicos. La participante P2 reconoce la existencia de incertidumbre y desafíos en el camino hacia el reconocimiento en el campo científico, pero enfatiza la importancia de perseverar y seguir los sueños individuales a pesar de estas barreras (I1C2). Inclusive, al sugerir que las mujeres pueden superar los obstáculos y lograr sus metas científicas si siguen su pasión, el testimonio implica una resignificación del rol de las mujeres en la ciencia, destacando su capacidad para alcanzar el éxito en este ámbito (I2C2). En la misma línea que las anteriores observaciones, la participante P6 opina que:

Siento que sí porque igualmente, por todos los estigmas que se han creado de decir «las mujeres sólo pueden estudiar esto, esto o esto», muchas veces se pierden mentes brillantes que desde muy temprana edad tienen ideas muy creativas e innovadoras sobre temas que ya existen o que podrían llegar a existir. Entonces muchas veces, al no poder ayudar a que las mujeres puedan estudiar diferentes campos, se desperdician muchas mentes brillantes que pueden seguir aportando. (ES, P6)

Aquí, la participante P6 habla de superar los estigmas de género en la educación y la ciencia, señalando que estos pueden limitar el acceso de las mujeres a campos de estudio más diversos y desperdiciar su potencial intelectual (I1C2). Además, al destacar la presencia de mentes brillantes entre las mujeres con ideas creativas e innovadoras, el testimonio resignifica el rol de las mujeres en la ciencia, mostrándolas como agentes capaces de generar contribuciones significativas al conocimiento científico (I2C2). A su vez, identifica los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico al señalar eventuales consecuencias que los estigmas y las limitaciones impuestas a las mujeres en la educación y la ciencia (I3C2).

Seguidamente, se registró otra pequeña discusión con respecto a la pregunta QP7 (¿Cómo era tu relación con las clases de física antes de empezar a explorar la historia de estos personajes? ¿Cómo ha cambiado luego de dicha exploración?). En el primer comentario registrado, la participante P7 testifica:

La verdad, siempre me había parecido muy ‘*meh*’. O sea, sí, ciencias no me molesta, no me disgusta, no le hago feo, pero tampoco es que me llegue a afiliarse con ella. Pero, con este interés de que ya no es solo hombres, ya no es así de simple, ya no es solo teoría, teoría, teoría y matemáticas. Sino que también es mucho experimento, mucha socialización entre compañeras y podemos nosotras, mujeres, tener un papel importante ahí. Es más impactante, sí me lleva, ya no me parece *meh*, sino que ya pienso en física y me hago el dibujo mental de la señorita con el prisma y eso. Entonces ya sí soy más... no soy más fanática de la física, ni de las ciencias exactas, pero ya sí la estoy entendiendo. (ES, P7)

Con este testimonio, los investigadores encuentran evidencia de una evolución significativa en la percepción y el interés de la informante hacia la ciencia, impulsada a través de la EF, puesta en juego a través de las secuencias didácticas SD1 y SD2. Inicialmente, la participante P7 reconoce una actitud indiferente hacia la materia, describiéndola como algo que no le atraía particularmente pero que tampoco le desagradaba. Sin embargo, el testimonio evidencia una transformación de dicha percepción a medida que la informante reconoce la creciente presencia y participación de las mujeres en el ámbito científico. Este cambio se relaciona con la resignificación del rol de las mujeres en la ciencia (I2C2), al darse cuenta de que la ciencia ya no es exclusivamente dominio de los hombres y que las mujeres pueden desempeñar un papel significativo en ella. Además, la mención de la experimentación y la socialización entre compañeras sugiere una mayor comprensión de la ciencia como una disciplina dinámica y colaborativa (Osborne, 2010), lo que puede contribuir a superar los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico (I1C2). Por su lado, la informante P3 aporta su perspectiva testificando que:

A mí siempre me había llamado la atención [la física]. Me parecía muy bacana, pero siento que nunca la enseñaban de manera correcta para llamar a las otras estudiantes, porque en el salón a nadie le gustaba. Pero ahora siento que, a mí que me llamaba un poquito, ya me terminó de llamar y me gustó. Algo que yo siempre había querido en las clases de física era que nos mostraran las cosas, el experimento, las demostraciones, cosas que nunca habían hecho, y siento que me gustó mucho. (ES, P3)

Inicialmente, la participante P3 muestra un interés previo por la física, describiéndola como algo que le llamaba la atención pero que no le convencía del todo debido a la forma en que se enseñaba en el aula. Esta percepción constituye una posible falta de conexión entre el contenido curricular y el interés del estudiante (MEN, 1998), lo que podría estar relacionado con una enseñanza tradicional de la física. No obstante, según el análisis de los autores de la presente investigación, el testimonio indica un cambio positivo en la percepción de la física, atribuido a la interacción de una nueva forma de enseñanza que involucra la reflexión y la experimentación. Este enfoque pedagógico parece haber despertado mayor interés y gusto por la disciplina en la participante P3, destacando la importancia de una enseñanza activa y mediada por la NOS y EF. Además, la expresión "algo que siempre había querido en las clases de física" sugiere un anhelo previo por un enfoque más práctico y experiencial en la enseñanza de la física, lo que resalta la relevancia de adaptar las estrategias pedagógicas a las necesidades e intereses de los estudiantes. Aquí, la participante P4 aporta su visión a través de la siguiente intervención:

A mí me pasa que me gusta la física y hay temas que me llaman mucho, pero nunca me ha importado quién lo hizo y mucho menos si era mujer o no. Entonces eso le hace cuestionarse mucho a uno mismo que uno da por sentadas las cosas y no se pregunta si lo hizo una mujer o quién. Entonces sí es como un nuevo enfoque de la misma área. (ES, P4)

Este aporte ofrece una reflexión interesante sobre la percepción de la física por parte de la informante. Aquí, la participante P4 expresa su interés por la física y ciertos temas dentro de ella, pero admite que nunca haber prestado atención al género de quienes han realizado dichos avances científicos (I3C2). Esta falta de conciencia sobre la contribución de las mujeres a la ciencia revela una perspectiva internalizada que puede ser común entre el estudiantado y que refleja la invisibilización de las mujeres en la HFC. Esta información, para los investigadores, reivindica la importancia de la sensibilización y la educación sobre la historia de la ciencia para desafiar los estereotipos de género y fomentar una ciencia más equitativa. En este punto de la discusión, la participante P6 menciona:

Considero que es muy interesante saber que en la historia también hay mujeres que han hecho grandes aportes. Pero personalmente, no sé si es porque a mí no me llama tanto la

atención la física o porque no soy tan creativa, entonces no lo veo por ese lado; pero sí me parece interesante saber que igualmente en la vida no todo lo han hecho los hombres, sino que las mujeres también han ayudado a construir. (ES, P6)

En este discurso, a pesar de explicitar una falta de conexión personal con la física, la informante reconoce la transcendencia de comprender la diversidad de voces y contribuciones en la ciencia (I1C2). Esto lleva a considerar la necesidad de fomentar una mayor conciencia sobre la diversidad de experiencias y perspectivas en el ámbito científico, incluso entre quienes no tienen un interés particular en el campo. La discusión local converge cuando la participante P8 señala:

A mí nunca me ha llamado la atención la física, ni lo que son ciencias exactas. Hay temas que me parecen interesantes, hay temas que no. Hasta ahora no he visto mucho que un profesor hablara de que las mujeres estuvieran metidas en el papel de la física. Este año ha sido más interesante saber que sí hubo mujeres que aportaron algo a la física, porque siempre es tipo “no, una mujer aportó tal cosa, pero hubo un hombre que le robó la aportación”, eso es horrible. (ES, P8)

Consecuentemente, un análisis de este testimonio identifica el reflejo de una estudiante que, aunque no siente afinidad por la física ni las ciencias exactas, tiene capacidad de autorregulación (Facione, 2007). Como evidencia de esto se resalta la apertura que manifiesta la participante P8 para cuestionar su propia percepción respecto al área de la ciencia al acercarse a la historia de mujeres científicas (I3C2). Se entiende así que la EF fungió como catalizador para el desarrollo de habilidades para el PC. La reacción de disgusto ante la idea de que los logros de las mujeres sean minimizados o atribuidos a hombres resalta una conciencia sobre los sesgos de género en la HFC (I2C2).

En cuanto a la pregunta orientadora específica QP6 (¿Cómo sientes que ha cambiado el mundo respecto al reconocimiento y las oportunidades para la mujer en la ciencia desde la época de Cecilia Payne hasta la nuestra? ¿Qué sientes que falta por cambiar?), la participante P6 apunta:

Yo siento que [el papel de la mujer en la ciencia] ha cambiado desde el simple hecho que ya podamos estar en las aulas con la seguridad de que al menos podremos graduarnos y que

podemos estar tranquilas en los salones aprendiendo y que vamos a salir adelante. A parte, podemos aspirar a un cargo que antes no podías ni imaginar que lo ibas a alcanzar por el simple hecho de ser mujer. Lo que siento que falta por cambiar es lo que estábamos diciendo ahorita de creer que “usted es mujer, usted debería hacer ciertas carreras”. Yo siento que es un cambio que falta por hacer, pero que igualmente ya ha habido cambios porque las mujeres dicen “yo puedo hacer esto, yo merezco esto”. Entonces la masa de mujeres que ya no quieren seguir en lo mismo de ser reprimidas ha ayudado en la lucha para lograr el cambio y su libertad. (ES, P6)

En esta unidad de análisis, la participante P6 resalta el cambio en el papel de la mujer en la ciencia, destacando la mayor presencia y seguridad que las mujeres sienten en las aulas y en su capacidad para aspirar a roles y posiciones que históricamente les estaban vedados (I2C2). Se reconoce que, si bien ha habido avances significativos, aún persisten estereotipos de género que limitan las opciones y aspiraciones de las mujeres en el ámbito científico (I3C2). Cuando la informante afirma que "las mujeres dicen «yo puedo hacer esto, yo merezco esto»" muestra un cambio en su estima por las mujeres en relación con su participación en la ciencia (I2C2). Además, se destaca el papel activo que alude a las mujeres en la lucha por la igualdad de oportunidades (Rubio, 2023), sugiriendo una conciencia y movilización social para lograr un cambio significativo en la inclusión y el reconocimiento de las mujeres en la ciencia (I1C2). Por su parte, P7 también aportó una respuesta respecto a esta cuestión al mencionar que:

La aceptación. No solo en la física. En sí, las mujeres ya tienen voz, pueden hacer un cambio y no solo en la carrera de física, sino también en política, medicina. Ya no son solo enfermeras, pueden ser médicas, científicas. Ya no son domésticas, sino que son un mundo. Ya no es un mundo de hombres y las mujeres en casa. No, el mundo ya es de todos. (ES, P7)

Sentencia que reivindica la voz de las mujeres en diversos campos, incluida la física (I2C2). Además, se destaca el cambio en la percepción del mundo, donde las mujeres ya no están limitadas a roles domésticos y se reconoce su contribución al mundo en general (I2C2). Esto sugiere, por efectos de este análisis, que para la participante P7 existe un avance hacia la igualdad de género y

la inclusión de las mujeres en todos los aspectos de la sociedad. Al respecto, la participante P5 opina:

Yo creo que sí ha cambiado, pero aún falta demasiado. Porque, a pesar de que, como dice la participante P7, las mujeres ya pueden tener un cargo más específico, todavía se ve mucho la exclusión hacia las mujeres por parte de los hombres o de las mismas mujeres. (ES, P5)

En este sentido, la participante P5 aborda la complejidad de las dinámicas de género en la ciencia, mostrando una percepción crítica y reflexiva sobre el progreso hacia la igualdad de género en el ámbito científico (Rubio, 2023). Se destaca por parte de este comentario de la participante P5 el reconocimiento de los avances logrados, evidenciado en la posibilidad de que las mujeres ocupen roles más destacados en la ciencia, lo cual sugiere una resignificación del rol de la mujer científica (I2C2). Sin embargo, se señala la persistencia de barreras y actitudes discriminatorias hacia las mujeres, tanto por parte de hombres como de otras mujeres, lo que pone de manifiesto la necesidad de abordar los sesgos de género arraigados en la sociedad (I3C2). Esta reflexión invita a considerar no solo los cambios estructurales necesarios para la inclusión de las mujeres en la ciencia, sino también la importancia de transformar las actitudes y percepciones sociales que perpetúan la desigualdad de género en este campo (I1C2). A tal marco de ideas, la participante P1 decide argüir:

Siento que no es cuestión de aceptación, sino de inclusión. Por ejemplo, no estoy de acuerdo con algo que dijo P7 que la mujer ya tiene un papel más presente. Por ejemplo, en la política ¿cuántas mujeres presidentas hay?, ahí se puede evidenciar eso. O, por ejemplo, dicen “¿Una mujer cómo va a ser capaz de gobernar o de hacer divulgación científica, si ellas no son capaces de hacer eso?, piensan que somos muy frágiles. Yo he escuchado mucho que somos muy sentimentales y que por lo mismo no somos capaces de tomar decisiones críticas. Yo pienso que falta mucho en cuestión de papeles, no hay esa igualdad. (ES, P1)

Es así, que la participante P1 plantea una reflexión crítica (Osborne, 2010) sobre la necesidad de avanzar hacia una mayor inclusión y equidad de género en diversos ámbitos, incluida la ciencia y la política. Los autores de este estudio destacan de este argumento la discrepancia con

la idea de que la brecha de género ya ha sido superada, remarcando que la existencia de barreras y estereotipos de género que limitan las oportunidades y el reconocimiento de las mujeres en roles de liderazgo y toma de decisiones (I2C2). La participante P1 subraya la importancia de la inclusión y la igualdad de oportunidades como elementos fundamentales para superar estas barreras y promover la participación activa de las mujeres en todos los ámbitos, de la sociedad (I1C2). En este sentido, el testimonio de la informante concluye destacando la necesidad de desafiar y cambiar los estereotipos de género arraigados, promoviendo una cultura de equidad y valoración del talento y las capacidades individuales, independientemente del género.

Posterior a dicha locución, uno de los entrevistadores formula la pregunta específica QP1 (¿Cuáles crees que, como sociedad, son los cambios que deberíamos efectuar para que no vuelva a suceder esa opresión hacia mujeres que deciden incursionar en las disciplinas de las ciencias?), obteniendo la siguiente respuesta por parte de la participante P1:

Lo primero es reconocer que el papel de la mujer no está solamente en un campo específico porque ese es el principal problema: que nos categorizan demasiado. Las sociedades categorizan mucho. Entonces, como normalmente se ha inculcado que el hombre hace tal oficio y la mujer el otro, no se ha podido mezclar. Entonces, digamos que el hombre no se puede poner en el papel de la mujer y la mujer no se puede poner en el papel del hombre. Es eso, dejar tanta categorización y tanto estigma. Infravalorar tanto a la mujer es horrible. Diría que, primero sería reconocer que parte de la segregación que hay hacia la mujer es el mismo miedo de que podemos ser igual de buenas en cualquier campo. Simplemente, es educación. (ES, P1)

Este testimonio aborda varios aspectos relacionados con la inclusión de la mujer en diferentes campos, lo cual puede ser analizado desde la perspectiva del PC, específicamente en relación con la habilidad de interpretación (Facione, 2007). Primero, la participante P1 destaca el problema de la categorización excesiva en la sociedad, lo cual implica reconocer y comprender cómo se construyen y mantienen los roles de género en diferentes ámbitos. Esto sugiere una capacidad para analizar y entender las estructuras sociales y culturales que perpetúan la discriminación de género (Forde, 2014). Además, el testimonio de la informante señala la importancia de reconocer y desafiar los estigmas y la infravaloración hacia las mujeres en diversos

campos, lo cual implica evaluar críticamente las creencias y prejuicios arraigados en la sociedad desde la EF (Blázquez, 2012). Esta reflexión también evidencia una capacidad para evaluar la educación y su papel en la perpetuación o superación de la segregación de género, lo cual refleja una habilidad de evaluación crítica. Sobre esta cuestión, la participante P7 comenta:

Siento también que nos referimos mucho a que antes la gente decía que la mujer no es capaz. Bueno, no generalicemos, algunos decían que sí éramos capaces y podíamos, un poquito, pero podían pensar. El problema es que no alzaban la voz. Ahora por lo menos hay un debate, un debate entre misóginos y feministas. Ahí entre medio los que creen que somos capaces, pero aun así creen que los hombres son superiores. En realidad, es esa la diferencia; que ya se puede alzar la voz, ya se hace frente, ya no es solo un pensamiento que nadie cuestiona. Ya falta que ese cambio no sea unos y otros. Que ya todos tengan en mente que todos son capaces de hacer algo. Que algunos pueden tener habilidades para unas cosas. (ES, P7)

Lo dicho por la participante P7 refleja una reflexión crítica sobre la evolución de las percepciones y actitudes hacia el papel de la mujer en la sociedad y en diferentes campos, lo cual puede ser analizado desde la perspectiva del PC, especialmente en términos de interpretación y análisis (Facione, 2007). Según el análisis de los autores, la participante P7 identifica la existencia de un cambio en la forma en que se percibe la capacidad de las mujeres para participar en diferentes áreas de la vida, destacando que antes existía la creencia de que las mujeres no eran capaces, aunque reconoce que no tera el consenso general. Esta observación sugiere una capacidad para interpretar y comprender cómo las percepciones y actitudes hacia las mujeres han evolucionado a lo largo del tiempo, lo que implica un análisis crítico de las actitudes sociales y culturales (I2C2). En términos de EF en la enseñanza de la física, este testimonio pone en evidencia la necesidad de cuestionar desde el aula las creencias arraigadas sobre las capacidades de las mujeres y aboga por un cambio en la mentalidad colectiva hacia una visión más inclusiva y equitativa de las habilidades y potencialidades de todas las personas. Respecto al comentario de la participante P7, la participante P1 decide añadir lo siguiente:

Por ejemplo, piensas en escoger una carrera en la que tú sabes que hay una gran mayoría de hombre y es como, “¿Yo cómo voy a afrontar la dificultad de tener que demostrar que yo merezco estar aquí?” Las mujeres tenemos que demostrar mucho más que lo merecemos. No se cuestiona que el hombre es capaz de estar en ingeniería o en humanidades. Entonces, también es como el miedo de pensar que nosotras tenemos que demostrar y sobresalir mucho más por el género”. (ES, P1)

En este testimonio, la participante P1 aborda los desafíos que enfrentan las mujeres al ingresar en campos dominados por hombres, como las ciencias. Refleja una conciencia crítica de los estereotipos de género presentes en la sociedad y en el ámbito académico y profesional (Blázquez, 2012). Este análisis sugiere una comprensión profunda de los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico (I3C2). Además, refleja la necesidad de resignificar el rol de la mujer científica (I2C2), al resaltar la presión adicional que sienten las mujeres para demostrar su valía en áreas donde son minoría. Inclusive, sugiere una reflexión sobre el PC (Facione, 2007) al cuestionar los prejuicios de género y la percepción de que las mujeres deben esforzarse más para ser reconocidas en campos académicos históricamente masculinizados. En favor de esto, la participante P4 complementa:

También es que hay una carga en ser mujer porque, como dice la participante P1, una siempre tiene que estar demostrando más que lo que hace un hombre. Por ejemplo, si usted hace lo mismo que un ‘man’, a usted le dicen “‘Tal’ persona lo hizo, pero pues es mujer ¿qué importa si alguien más lo hizo?” (ES, P4)

El testimonio aborda la carga adicional que enfrentan las mujeres en la ciencia y la academia debido a los estereotipos de género y las expectativas sociales. Refleja una conciencia crítica de los sesgos de género presentes en la sociedad y en el ámbito profesional y académico. Este análisis sugiere una comprensión profunda de los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico (I3C2). Todo esto evidencia la disposición de resignificar el rol de la mujer científica (I2C2), al resaltar la presión adicional que sienten las mujeres para demostrar su valía en comparación con colegas masculinos. Además, sugiere una reflexión sobre el PC al cuestionar los prejuicios de género y la percepción de que las mujeres deben esforzarse más para ser reconocidas

en campos académicos y profesionales dominados por hombres (Rubio, 2023). En cuanto al reconocimiento del contexto histórico y social en la construcción del conocimiento científico (I1C2), el testimonio implícitamente reconoce la persistencia de desigualdades de género en la sociedad y su impacto en la percepción y el reconocimiento del trabajo de las mujeres en la ciencia. Sin embargo, para los investigadores, este aspecto pudo haberse abordado de manera más explícita para enriquecer aún más el análisis.

Por otro lado, al plantearse en la conversación la pregunta orientadora específica QP5, la participante P5 concretó la siguiente intervención:

Pienso que es muy importante [...] para mí, las ciencias exactas son complejas y son aún más complejas al ver que los aportes de las mujeres son reprimidos u opacados. Entonces, es como muy importante ver el papel de la mujer en la física porque una puede tener más motivación. Por ejemplo, para P2 es muy importante que las mujeres puedan tomar la iniciativa, sentir que ellas sí son capaces, que pueden alcanzar lo mismo que los hombres. Mostrar y darse a conocer que ellas sí son capaces. (ES, P5)

El punto de vista ofrecido por la participante P5 enfatiza la importancia de reconocer y valorar los aportes de las mujeres en la ciencia, específicamente en el campo de las ciencias exactas como la física. Para los autores de la presente investigación, esto es un reflejo de una conciencia crítica de los sesgos de género presentes en la sociedad y en el ámbito académico y profesional (I3C2). Pone en evidencia la necesidad de resignificar el rol de la mujer científica (I2C2), al resaltar la importancia de visibilizar el papel de las mujeres en la física para motivar a otras mujeres a seguir sus pasos.

En cuanto a la pregunta orientadora Q7 (¿Qué acciones crees que los y las educadores deben tomar para que las estudiantes se motiven a hacer ciencia?), sólo fue registrada una intervención por parte de la participante P1, quien respondió:

Enseñar es muy complejo. La verdad, una manera de decirle a un licenciado «haz esto» es muy difícil porque no estamos en la situación de profesoras nosotras. Pero, como estudiante, yo creo que sería darles la voz a las estudiantes. Porque normalmente es: el profesor dicta, el profesor hace, el profesor explica. Entonces no hay intervención de las estudiantes.

Entonces hay mucho estigma de que los profesores no pueden aprender de las estudiantes, y en realidad puede que sí. Entonces es más que todo comunicación. (ES, P1)

El testimonio fue considerado de especial relevancia para esta investigación, pues aborda la complejidad de la enseñanza de la física y la importancia de involucrar activamente a las estudiantes en el proceso educativo. Refleja una conciencia crítica de los roles de género y los estereotipos presentes en la dinámica profesor-estudiante en el aula, evidenciando a la vez una comprensión profunda de los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico (I3C2). Las palabras de la participante P1 invitan también resignificar el rol de la mujer en la educación científica (I2C2), al resaltar la importancia de dar voz y espacio a las estudiantes en el aula. Además, sugiere una reflexión sobre el PC al cuestionar las dinámicas de enseñanza y aprendizaje de la ciencia.

Finalmente, una última unidad de análisis fue registrada en torno a la pregunta orientadora Q8 (¿Qué otras reflexiones, además de las ya mencionadas, te dejan los procesos que tuvieron que vivir Émilie du Châtelet y Cecilia Payne en la construcción y validación de sus aportes a la ciencia?) donde la participante P3 concluyó:

Yo siento que no es tanto esperar a que me acepten. [...] Porque estaban diciendo que el futuro de las mujeres es esperar a que nos acepten y ya. Como si esa fuera la forma de que entremos a la sociedad, y yo siento que no es así. ¿A qué voy a esperar a que me acepten?, yo hago parte del grupo, yo no necesito que me acepten. Es simplemente decir “yo estoy aquí, yo tengo esto, yo se esto, descubrí esto y lo voy a mostrar”. Siento que no es esperar a que los otros digan “bueno, muéstranos qué descubrió”, no. [...] Porque si voy a esperar a que me acepten, nunca me van a aceptar y me voy a quedar olvidada. (ES, P3)

En esta mención se resalta la importancia de no depender de la aceptación externa para lograr el reconocimiento y el éxito en la sociedad (Forde, 2014). A través de esta respuesta, la participante P3 demuestra una conciencia crítica de los roles de género y los estereotipos presentes en la sociedad y en el ámbito profesional y académico. Este análisis sugiere una comprensión profunda de los sesgos de género en la construcción del conocimiento científico (I3C2). De igual forma, sugiere la necesidad de resignificar el rol de la mujer en la sociedad y en la ciencia (I2C2),

al mencionar el empoderamiento personal y la autoafirmación como medios para superar las barreras de género y lograr el reconocimiento. Para los investigadores del presente estudio, la informante en cuestión muestra indicios de un PC sobre la NOS a través de la EF, al cuestionar los prejuicios de género y la percepción de las capacidades de las mujeres para alcanzar el éxito por sí mismas en el ámbito científico.

8. Conclusiones

En esta sección, se procede a contrastar los hallazgos expuestos en el anterior capítulo con los objetivos y pregunta de investigación establecidas al principio del estudio. Este ejercicio tiene el propósito de examinar la forma en que dichos hallazgos logran dar solución, en caso de darse, al problema planteado. Asimismo, se analiza críticamente las causas tras los resultados obtenidos con el fin de verificar la pertinencia y validez de dichos hallazgos. Adicionalmente se discuten a profundidad las razones de su logro o falta de logro en la consecución de los objetivos, contribuyendo así a enriquecer la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Física.

Para empezar, como se expuso en el planteamiento del problema, es imperante integrar el Mundo de la Vida en los procesos educativos, reconociendo las realidades fundamentales del mundo natural y sociocultural. Además, se necesitan diálogos críticos y contextualizados entre estas realidades para lograrse una comprensión más rica del mundo. En este sentido, la ciencia se constituye como eje esencial y significativo en las sociedades y culturas, y sus procesos de enseñanza y aprendizaje desde los contextos escolares. Es en este escenario que se destaca la importancia de abordar la NOS, integrando la HFC en la enseñanza de la física con el fin de humanizar las perspectivas de y sobre ciencia, para fomentar capacidades críticas y superar los estereotipos y sesgos de género que permean la práctica científica. Por tanto, se requieren reflexiones y diseños de propuestas didácticas que profundicen en el rol de la mujer en la ciencia, sugiriendo un enfoque de enseñanza que relacione la HFC y la EF para motivar la reflexión crítica y la superación de prejuicios en la ciencia.

Se reconoce que este estudio es relevante y responde a la pregunta de investigación, corroborando que la incorporación de la EF en la enseñanza de la física efectivamente contribuyó al desarrollo de habilidades de PC en las estudiantes de undécimo grado del CEFA. En este sentido se aborda específicamente la categoría C2, que, a lo largo del texto, presenta reflexiones y testimonios de las participantes que evidencian su capacidad para reflexionar sobre las perspectivas feministas en la ciencia, así como el papel de las mujeres en la construcción del conocimiento científico. Así, las participantes muestran una conciencia crítica de los sesgos de género en la ciencia, designando en sus discursos la importancia de visibilizar y valorar los aportes de las mujeres en la física, y la necesidad de desafiar los estereotipos de género en la EC. Estos

testimonios reflejan una disposición a repensar y cuestionar las estructuras sociales y culturales que perpetúan la discriminación de género, lo cual implica un desarrollo de competencias y habilidades de PC y de argumentación en las estudiantes fundamentales para afrontar los desafíos del mundo que habitan.

De manera complementaria, se obtuvo que a través de propuestas didácticas basadas en las nociones de NOS y de la EF, se lograron los objetivos específicos. De manera puntual, en una primera instancia se caracterizaron las concepciones de las estudiantes del grado undécimo del CEFA acerca de sus perspectivas y presaberes sobre el papel de la mujer en la ciencia. Con lo cual se evidencia la importancia de reconocer y valorar los aportes de las mujeres en la ciencia para motivar a otras mujeres a seguir sus pasos, alcanzando el primer objetivo.

También se analizaron los discursos de las estudiantes relativos a la subrepresentación femenina en la ciencia a través de la implementación de secuencias con enfoque didáctico basado en prácticas científicas centradas en los trabajos de mujeres científicas. Y, en este sentido, se destacó la conciencia crítica sobre los sesgos de género presentes en la sociedad y en el ámbito académico y profesional, los cuales pueden modificarse con intervenciones y prácticas conscientes. Es así que puede concebirse que se alcanzó el segundo objetivo.

En último lugar, se valoró el potencial de las propuestas de enseñanza de la física fundamentada en los trabajos de mujeres científicas para contribuir al desarrollo del PC en las estudiantes. Los resultados observados en este sentido evidencian un cambio tanto en la percepción y el interés de las participantes hacia la ciencia como en su disposición para elaborar explicaciones a fenómenos físicos y asuntos socioculturales propios en las biografías de las mujeres científicas abordadas en las secuencias didácticas SD1 y SD2. Se estima que dicho avance fue impulsado por la inclusión de reflexiones sobre HFC mediadas por la EF en las secuencias didácticas que se implementaron.

Como resultado, se refleja el logro del objetivo general que se planteó. Se muestra cómo una perspectiva de enseñanza de la física fundamentada en una perspectiva feminista de la HFC favorece el desarrollo del PC de estudiantes del grado once del CEFA. Esto se logró a través de la exploración de las reflexiones y discursos de las participantes en relación con la EF y la NOS, lo que sugiere un enfoque pedagógico que promueve la reflexión crítica y la conciencia de los sesgos de género en la ciencia. Con lo cual, se constata la viabilidad y culminación satisfactoria del proyecto de investigación. En este sentido, se recalca la pertinencia y aporte de este trabajo de

grado a la línea de investigación Historia y Epistemología de las Ciencia, constituyéndose como precursor de una nueva perspectiva con un gran abanico de posibilidades y problemáticas a investigar que pretendan el reconocimiento y reivindicación del rol de la mujer en la ciencia desde los contextos escolares.

Por otro lado, el diseño e implementación de las secuencias didácticas propuestas en este trabajo de investigación son el reflejo de nuevas alternativas que lleven contenidos interesantes e importantes al enseñar y aprender ciencia. De manera puntual, en el desarrollo de las secuencias representa para los autores un trabajo que trascendió el mero acto de enseñar, pues ha cobrado sentido el crear con sentido y en armonía con los intereses y necesidades de a quiénes les estábamos enseñando. En definitiva, el proceso creativo significó un reto en la búsqueda de los referentes y contenidos que se enmarcaran de la manera más adecuada a los tiempos, el currículo y las distintas formas en cómo presentarles dichos contenidos a las estudiantes para que les fuesen llamativos y relevantes.

Para finalizar, se resalta que este proyecto de investigación ha aportado ampliamente al proceso de formación de los autores como docentes de física, permitiendo escenarios en donde sean importantes tanto las ecuaciones matemáticas, las teorías y leyes, como su concepción histórica, filosófica y sociocultural. Además, el trabajo de grado dio lugar a la participación al IX Seminario Internacional de Enseñanza de las Ciencias Naturales (ver Anexo 9 y Anexo 10), en donde se pudo compartir el proyecto con colegas, aportando nuevas perspectivas teóricas y valorando la propuesta de manera imparcial e intersubjetiva. También, se celebra la consecución de la propuesta en la Convocatoria de Trabajos de Grado del Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas (CIEP) (ver Anexo 11).

9. Recomendaciones

Durante el proceso de la investigación, se tuvieron en cuenta múltiples aspectos que pudiesen presentarse. Estos van desde situaciones que posicionaran el desarrollo del estudio en contrarreloj por los tiempos a los que dependía en el marco institucional, rutas para evadir sesgos en el estudio, entre otros. Todo lo dicho se procuró alcanzar a cabalidad, sosteniendo rigurosamente lo planificado y ateniendo a las dificultades que pudieron presentarse ágilmente, llegando a deslumbrar resultados satisfactorios que respondiesen a lo planteado inicialmente en la premisa y los objetivos de la investigación. A pesar de esto, una vez finalizado el proceso de la investigación es posible visualizar situaciones, procedimientos y materiales que pudieron hacer de la misma más rica y acertada en, por ejemplo, las implementaciones de las secuencias didácticas. En este marco de ideas, se considera prudente realizar una recapitulación que posibilite mejorar futuras propuestas en sintonía con este estudio, además del reconocimiento de las dificultades que pudieron entorpecerlo. Con lo dicho, se presenten los siguientes aspectos:

i. Implicaciones del contexto de la investigación

Es indiscutible la relevancia que tiene el contexto en las decisiones y rumbos que toma una investigación. Es atendiendo al contexto del CEFA, como institución educativa femenina pública del municipio de Medellín, que este estudio tiene un pertinente carácter de estudio de caso intrínseco. Sin embargo, surgen preguntas como ¿Y si la implementación de las secuencias didácticas propuestas en esta investigación se lleva a cabo en una institución educativa mixta?

En tal caso, debería reconsiderarse la metodología del trabajo investigativo, como el tipo de estudio y otras técnicas e instrumentos de recolección de información, puesto que posiblemente se deban replantear algunos asuntos puntuales desde el planteamiento del problema. Las dificultades que se encuentran en una escuela mixta en relación con los estereotipos de género pueden evidenciarse aún más, debido a que se cuenta con una población mucho más semejante a la realidad sociocultural fuera de la escuela. Como resultado, en dicho escenario pueden presentarse con más frecuencia y fuerza patrones, discursos y normas tanto en el currículo como en el currículo oculto que reproducen y perpetúan tales sesgos de género, como se ha expuesto en los primeros párrafos de este estudio.

Además, se recomendaría reflexionar sobre las mejores estrategias que generen inclusión y equidad en las aulas entre estudiantes hombres, mujeres o disidencias, pues fácilmente puede trastocar ideologías y generar violencia simbólica sino se considera el debido respeto y ética. En este sentido, podrían considerarse otras competencias y habilidades a reforzar y promulgar desde la implementación de propuestas pedagógicas con perspectiva de género en las clases de ciencia, como el trabajo colaborativo, la responsabilidad personal y social o la ciudadanía.

ii. Pocos referentes femeninos en la documentación histórica para abordar los contenidos de física en el currículo escolar

Este punto por considerar se enmarca en las dificultades que se experimentaron en la construcción de las propuestas pedagógicas que permitieron llevar al aula reflexiones sobre el rol de la mujer en la ciencia. Se destaca, que al realizar una búsqueda rigurosa resultó como obstáculo primado la poca cantidad de referentes teóricos femeninos desde las cuales pudieran abordarse contenidos disciplinares de física. Como se ha mencionado ya, la subrepresentación femenina en la ciencia implica que los aportes de las mujeres al conocimiento científico quedé en el olvido histórico. Esto no quiere decir que no haya aportes de mujeres a la ciencia o que no sean relevantes para la educación científica en el contexto escolar, sino que no se les ha dado el reconocimiento y el eco meritorio. Es así, que se refleja la poca gama de posibilidades de abordar contenido disciplinar, en especial sobre física, desde la epistemología feminista.

Por lo anterior, se refleja la necesidad de reflexionar críticamente de y sobre ciencia desde perspectivas como las que sugiere la epistemología feminista. Comprender por qué hay tan poca producción científica por parte de mujeres o minorías y su respectiva divulgación, implica nociones metacientíficas. Tales reflexiones son necesarias para la construcción y perfeccionamiento de las sociedades, debido a que estas fundan y refuerzan las bases para la equidad, rompiendo estereotipos y sesgos de género y favoreciendo la igualdad de oportunidades. Todo esto se traduce en una abundancia de discusiones y posiciones críticas fuertes desde una perspectiva no epistémica que demuestra las distintas razones por las cuales no se le ha dado un rol trascendente y significativo a lo largo de la historia de la ciencia (HC) a las mujeres. Para ilustrar, se resalta que los roles de género posicionan a las mujeres en oficios maternos y de cuidado, relegando y subestimando, casi que, negando, sus capacidades de razonamiento y creatividad, justificando falazmente la no participación de estas en la ciencia. En contraposición, en las discusiones que tienen un trasfondo

y cimientos más epistémicos, se hacen presentes las dificultades consecuentes de la poca documentación histórica de los aportes de mujeres a la ciencia.

Usualmente, los contenidos que se enseñan de ciencia a través de una perspectiva de género que en la actualidad está cobrando fuerza, suelen reducirse a los mismos referentes femeninos, como lo son mencionar Rosalind Franklin o Marie Curie. No obstante, se cuestiona fuertemente que solo se mencionen sus nombres y aspectos relevantes de su biografía, sin poner el foco de atención o procurar un equilibrio entre sus realidades socioculturales con sus aportes a la comprensión de la esfera natural, es decir, sus contribuciones a la ciencia. Es en este sentido, que se encuentra un gran potencial en la educación científica para mostrar y formar perspectivas de y sobre ciencia enfáticas en un equilibrio, pertinente para las exigencias y realidades actuales de los ciudadanos y las ciudadanas del mundo. Asimismo, estas oportunidades de enseñanza se comprenden como un reto, al requerir rigurosidad y responsabilidad en la búsqueda de documentos históricos para ingeniar, diseñar, e implementar propuestas educativas en ciencia que impliquen reflexiones metacientíficas con perspectiva de género.

iii. Ausencia de material teórico y práctico para ejemplificar la espectroscopía

Retomando lo explicitado en las anteriores consideraciones, referente a los requerimientos para mediar y garantizar el equilibrio sobre las nociones epistemológicas de la ciencia en las propuestas educativas, se presumen algunas alternativas que pudieron ser de gran ayuda a la hora de realizar el diseño y la implementación de las secuencias didácticas. Particularmente, se resalta la secuencia didáctica que pretende enseñar conceptos fundamentales sobre espectroscopía, abordando temas como ondas y fenómenos de la luz dentro del contenido curricular, con el propósito de contextualizar los aportes de Cecilia Payne a la astronomía. Es así, que desde esta propuesta se puede sondear un abanico de recursos que apoyan y la vuelven más atractiva en ambientes escolares.

Tales recursos fueron la construcción de un espectroscopio con materiales caseros y otros instrumentos tecnológicos, como simuladores y otras páginas web, que hicieron aportes significativos en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos y teorías de la física de la luz. A pesar de ello, no se pudo encontrar, realizando una búsqueda austera, un simulador que permitiese apreciar el proceso que produce un espectro de emisión de la luz que respondiera a la falta de recursos para realizar la práctica experimental sobre espectroscopía en el aula de clase. Con respecto a este último aspecto mencionado, se relaciona principalmente con la ausencia de un

espectrofotómetro, tubos de descarga conteniendo los elementos a analizar, una fuente de voltaje capaz de excitar los átomos dentro de los tubos para que se conviertan en emisores de luz y, por último, pero no menos importante, la carencia de guantes térmicos que permitan manipular el experimento sin riesgo de quemaduras al manejar los tubos después de haber sido sometidos a un voltaje tan elevado.

Como consecuencia, se prevé que hay rutas por explorar, como lo es, de manera específica, el diseño y la creación de un simulador que atienda a mostrar el espectro de emisión o de absorción de la luz, cuando no se cuenta con lo necesario para hacer el montaje análogo para la experimentación o que apoye dicha práctica experimental. Se considera que es una propuesta con gran viabilidad, pues se constituiría en un recurso relevante que apoye la enseñanza y afiance el aprendizaje de la temática. Para concluir, debido a que la presente investigación fue realizada en el marco de la enseñanza de la Física, se deja a consideración la posibilidad futura de emprender estudios sobre el impacto de la EF de la ciencia en los procesos de enseñanza de otras áreas de la educación en ciencias como: Química, Biología, Matemáticas y Tecnología.

Referencias

- Alejandro Muñoz Gaviria, D. (2013). *PEDAGOGÍAS CRÍTICAS Y TRANSFORMACIÓN DE SUBJETIVIDADES*.
- Álvarez Álvarez, C., & San Fabián Maroto, J. L. (2012). *La elección del estudio de caso en investigación educativa* (Vol. 28, Issue 1). <http://hdl.handle.net/10481/20644>
- Andrés Klaus Runge Peña, & Diego Alejandro Muñoz Gaviria. (2010). Crisis y aporías de la educación en la sociedad moderna occidental. *Revista Colombiana de Educación*, N° 59, 112–133.
- Antonio Acevedo, J., Vázquez, Á., Martín, M., María Oliva, J., Acevedo, P., Fátima Paixão, M., & Antonia Manassero, M. (2005). NATURALEZA DE LA CIENCIA Y EDUCACIÓN CIENTÍFICA PARA LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA. UNA REVISIÓN CRÍTICA. In *Fernández* (Vol. 2, Issue 2). Martins.
- Arcà, M., Guidoni, P., & Mazzoli, P. (1990). Enseñar ciencia. *Paidòs Educados*.
- Arrieta de Guzmán, T. (2018). Sobre el pensamiento feminista y la ciencia. *Letras (Lima)*, 89(130), 51–78. <https://doi.org/10.30920/letras.89.130.3>
- Banerjee, G. (2021). Spectroscopy: The Tool to Study the Stars. *Mapana Journal of Sciences*, 20(4), 09–31. <https://doi.org/10.12723/mjs.59.2>
- Bauman, Zygmunt. (2004). *La sociedad líquida*. Fondo de Cultura Económica.
- Cabrera, F. C. (2005). *Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa*. In *Theoria* (Vol. 14, Issue 1).
- Castillo, J. (2008). *La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias*.
- Centro Formativo de Antioquia. (2023). <https://centroformativodea.wixsite.com/cefa>
- Cisterna Cabrera, F. (2005a). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación. In *Theoria* (Vol. 14, Issue 1).
- Cisterna Cabrera, F. (2005b). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61–71.
- Facione, P. (2007). Facione (2007) Pensamiento crítico-REVISADO. *The California Academic Press*.
- Fernández, L. (2000). Roles de Género y Mujeres Académicas. *Revista de Ciencias Sociales*.
- Ford, M. J. (2015). Educational Implications of Choosing “Practice” to Describe Science in the Next Generation Science Standards. *Science Education*, 99(6), 1041–1048. <https://doi.org/10.1002/sce.21188>
- Forde, C. (2014). Is “gender-sensitive education” a useful concept for educational policy? *Cultural Studies of Science Education*, 9(2), 369–376. <https://doi.org/10.1007/s11422-012-9432-0>
- Foucault, M. (2002). *Vigilar y castigar : nacimiento de la prisión*. Siglo Veintiuno.
- Foucault, Michel. (1995). *¿Qué es la crítica?*
- Fraknoi, A. (1992). *Astronomical Resources-Women in Astronomy a Bibliography*. <http://cwp.library.ucla.edu/>
- Freire, P. (1970). La educación como práctica de la libertad.
- Freire, P. (1990). Pedagogía del oprimido.
- Fuentes, B., & Isabel, M. (2011). De epistemología feminista. Cómo generar conocimiento científico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4507801>
- Gálvez, V. E., Directora, M., Ballarín, D. P., & Granada, D. (2015). Epistemología, mujeres y ciencia: una historia del devenir de subjetividades. <http://hdl.handle.net/10481/43020>

- García-Carmona, A. (2020). Non-epistemic practices: Extending the view in the didactic approach based on scientific practices. *Revista Eureka*, 18(1).
https://doi.org/10.25267/REV_EUREKA_ENSEN_DIVULG_CIENC.2021.V18.I1.1108
- Gonzaga Martínez del Campo, L. (2016). Más allá de la calificación. Instrumentos para evaluar el aprendizaje.
- Graf, N. B., Flores, F., Maribel, P., Everardo, R., Blazquez, N., Fátima, G., Palacios, F., Ríos, M., Coordinadoras, E., Arruda, Á., Bartra, E., Patricia, M., Salgado, C., Corres, P., Delgado Ballesteros, G., Rius, L. F., Palacios, F. F., Gargallo, F., Harding, S., ... Ursini, S. (2012). Investigación feminista. Epistemología metodología y representaciones sociales.
- Guil Bozal, A. (2016b). Género y construcción científica del conocimiento. *Revista historia de la educación latinoamericana*, 18(27), 263–288. <https://doi.org/10.19053/01227238.5532>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*.
- Hodson, D. (2020). Going Beyond STS Education: Building a Curriculum for Sociopolitical Activism. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20(4), 592–622. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00114-6>
- Iglesias, M. (2004). *El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: Una nueva perspectiva de la actividad experimental*. 20(44), 98–119.
- Izquierdo Aymerich, Merce., García Martínez, Alvaro., Quintanilla Gatica, Mario., & Aduriz-Bravo, Agustín. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Jamal, N. O. el, & Guerra, A. (2022). the Marie Curie Case Through the Cultural History of Science: Discussing Relations Between Women, Science, and Patriarchy in Science Education. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 24, 1–21.
- Jenifer Dengate, R. H. y T. P. (2021). *The Effect of Women Academic Leaders on Canadian Natural Sciences and Engineering Professors*.
- Jordi Vallderú, & Mercè Izquierdo. (2010). Error y conocimiento: Un modelo filosófico para la didáctica de la ciencia. *Enseñanza de Las Ciencias*, 47–60.
- Kelly, G. J. (2008). *Inquiry, Activity, and Epistemic Practice*.
- Koonce, D. A., & Anderson, C. D. (2011). *What is STEM?*
- Laboratorio de Economía de la Educación (LEE), & Pontificia Universidad Javeriana. (2022). *Las mujeres en carreras STEM*. 67. <https://lee.javeriana.edu.co/publicaciones-y-documentos>
- Latour, B. (2001). Dadme un laboratorio y levantaré el Mundo. *Documentos CTS-OEI*, 1–23.
<http://www.campus-oei.org/cts/latour.htm>
- Laura Benítez José Antonio Robles Viridiana Platas Benítez Leonel Toledo Marín, H. (2014). *Filósofas de la Modernidad temprana y la Ilustración*.
- Lederman, N. G. (2013). Nature of science: Past, present, and future. In Handbook of research on science education (pp. 831-879). Routledge.
- Locqueneux, R. (1995). Les Institutions de physique de Madame Du Châtelet ou d'un traité de paix entre Descartes, Leibniz et Newton. *Revue Du Nord*, 77(312), 859–892.
<https://doi.org/10.3406/rnord.1995.5053>
- Maggio, M. (2018). *Habilidades del Siglo XXI: Cuando el futuro es hoy*.
- Martínez Escárcega, R. (2014). *Pedagogía tradicional y pedagogía crítica* (Instituto Latinoamericano de Pedagogía Crítica, Ed.; 1st ed.).

- Martínez Godínez, V. L. (2013). Métodos, técnicas e instrumentos de investigación. *Academia Accelerating the World's Research*, 1(7).
<https://www.guao.org/sites/default/files/portafolio%20docente/M%C3%A9todos%20t%C3%A9cnicas%20e%20instrumentos%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf>
- Matthews, M. R. (1994a). *HISTORIA Y EPISTEMOLOGIA DE LAS CIENCIAS VINO VIEJO EN BOTELLAS NUEVAS: UN PROBLEMA CON LA EPISTEMOLOGÍA CONSTRUCTIVISTA**.
- Matthews, M. R. (1994b). *HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS HISTORIA, FILOSOFÍA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: LA APROXIMACIÓN ACTUAL**.
- McComas, W. F. (2002). The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myths. In *The Nature of Science in Science Education* (pp. 53–70). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5_3
- Mellado, V. y C. D. (1993). *CONTRIBUCIONES DE LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA A LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS* (Issue 3).
- MEN. (1998). *Serie Lineamientos Curriculares. Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Estándares Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*, (2004).
- MEN. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales. V. 1*.
- Mena Manrique, A. M., & Méndez Pineda, J. M. (2009). La técnica de grupo de discusión en la investigación cualitativa. Aportaciones para el análisis de los procesos de interacción. *Revista Iberoamericana de Educación*, 49(3), 1–7.
<https://doi.org/https://doi.org/10.35362/rie4932094>
- Millán de Benavides, C. y E. A. (2004). Pensar (en) Género. Teoría y práctica para nuevas cartografías del cuerpo. *Editorial Universidad Pontificia Javeriana, CDD 305.42 Ed. 21*.
- Montoya, J. (2007). *Acercamiento al desarrollo del pensamiento crítico, un reto para la educación actual*.
- Morales, R., & Sifontes, D. (2013). *Desigualdad de Género en Ciencia y Tecnología: un estudio para América Latina*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=219030399006>
- Musielak, D. E. (2014). *The Marquise du Châtelet: A Controversial Woman of Science*.
- Nieto, D. (2023). Émilie du Châtelet en tiempos de Newtonianismo. *Perspectivas*, 7(2), 72–98.
<https://doi.org/10.20873/rpv7n2-44>
- Omar Dengo, F. (2014). *COMPETENCIAS DEL SIGLO XXI GUÍA PRÁCTICA PARA PROMOVER SU APRENDIZAJE Y EVALUACIÓN CAPÍTULO LATINOAMERICANO DEL PROYECTO ATC21s*. www.fod.ac.cr
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. In *Science* (Vol. 328, Issue 5977, pp. 463–466). <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Payne, C. H. (1925). *Stellar Atmospheres. A contribution to the observational study of high temperature in the reversing layers of stars*.
- Payne-Gaposchkin, C., & Haramundanis, K. (1996). *Cecilia Payne-Gaposchkin : an autobiography and other recollections*. Cambridge University Press.
- Piñuel, J. L. (2002). *Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido*.
- Quintero Bonilla, K. (2018). *Jóvenes Mujeres en Ciencia “Relatos de inspiración a la ciencia”* (Issue November).
- Reidl-Martínez, L. M. (2012). Marco conceptual en el proceso de investigación. In *Inv Ed Med* (Vol. 1, Issue 3). www.elsevier.com.mx

- Rodrigues Rocha, G., Vimieiro Gomes, A. C., & Fonseca da Silva Rocha, L. (2022). Feminist Epistemology and Philosophy of Science: An Interview with Helen Longino. *Cadernos Pagu*, 2022(65). <https://doi.org/10.1590/18094449202200650021>
- Rodríguez Gómez Javier Gil Flores Eduardo García Jiménez Ediciones Aljibe Granada, G. (1996). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CUALITATIVA*.
- Romero Chacón, Á., Yirsén Aguilar Mosquera Profesor, M., & Luz Stella Mejía, D. (2016). *Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación*. <https://www.redalyc.org/pdf/2831/283146484005.pdf>
- Ross, K., Galaudage, S., Clark, T., Lowson, N., Battisti, A., Adam, H., Ross, A. K., & Sweaney, N. (2023). Invisible women: Gender representation in high school science courses across Australia. *Australian Journal of Education*, 67(3), 231–252. <https://doi.org/10.1177/00049441231197245>
- Rubio, E. M., & Fernández-Barredo, B. A. (2022). Gender perspective in technological development: about EMPATÍA-CM Project 1. *Sociologia y Tecnociencia*, 12(1), 34–55. <https://doi.org/10.24197/st.1.2022.34-55>
- Rubio Juan, M. (2023). Dichotomies of a Gendered Science A Brief Critical Approach to the Projects for a Feminist Science. *TECHNO Review. International Technology, Science and Society Review / Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*, 13(1). <https://doi.org/10.37467/revtechno.v13.5008>
- Ruiz, S. (2018). Didáctica de las ciencias desde la diversidad cultural y ambiental: aportes para un currículo contextualizado. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de Las Ciencias*, 13(2), 291–305. <https://doi.org/10.14483/23464712.12546>
- Schimandero, A. P. (2019). *UMA PROPOSTA DE ENSINO DE CIÊNCIAS BASEADA NAS PRÁTICAS CIENTÍFICAS DE MULHERES*.
- Sinnes, A. T., & Løken, M. (2014). Gendered education in a gendered world: Looking beyond cosmetic solutions to the gender gap in science. *Cultural Studies of Science Education*, 9(2), 343–364. <https://doi.org/10.1007/s11422-012-9433-z>
- Slavov, M. (2020a). *A Problem in Du Châtelet's Metaphysical Foundations of Physics*. https://www.researchgate.net/publication/346944122_A_Problem_in_Du_Chatelet's_Metaphysical_Foundations_of_Physics
- Slavov, M. (2020b). *A Problem in Du Châtelet's Metaphysical Foundations of Physics*.
- Solano Rivera, S. E. (2024). Estudios CTS, epistemología feminista y perspectiva descolonial. *Cuadernos Nacionales*, 34, 7–37. <https://doi.org/10.48204/j.cnacionales.n34.a4760>
- Stake, R. E. (1999). *Investigación con estudio de casos*.
- Suisky, D. (2014). *Emilie Du Châtelet und Leonhard Euler über die Rolle von Hypothesen Zur nach-Newtonschen Entwicklung der Methodologie*.
- Taborda Oquendo, J. C. (2017). *Feminización de las pedagogías vs Pedagogías feministas: Posibilidades para construir caminos libertarios*.
- Toledo Marín, L., & Platas Benítez, V. (2014). *Filósofas de la Modernidad temprana y la Ilustración*.
- Tovar-Gálvez, J. C. (2021). The epistemological bridge as a framework to guide teachers to design culturally inclusive practices. *International Journal of Science Education*, 43(5), 760–776. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1883203>
- Trimble, V. (2022). Cecilia Payne-Gaposchkin. *Resonance*, 27(11). <https://doi.org/10.1007/s1245-022-1482-3>

UNESCO. (2016). *APORTES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES*.

www.acentoenlace.cl

UNESCO. (2020). *Women in Science The gender gap in science*. <http://uis.unesco.org>

Unidas, N. (2021). *Políticas públicas para la igualdad de género en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM): desafíos para la autonomía económica de las mujeres y la recuperación transformadora en América Latina*. www.cepal.org/apps

Vital, A., & Guerra, A. (2017). a Implementação Da História Da Ciência No Ensino De Física: Uma Reflexão Sobre As Implicações Do Cotidiano Escolar. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 19(0), 1–21. <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190127>

Wayman, P. A. (2016). *Cecilia Payne-Gaposchkin: Astronomer Extraordinaire. C. H. Payne-Gaposchkin. A Review of a Life of Unusual Achievement*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Anexos

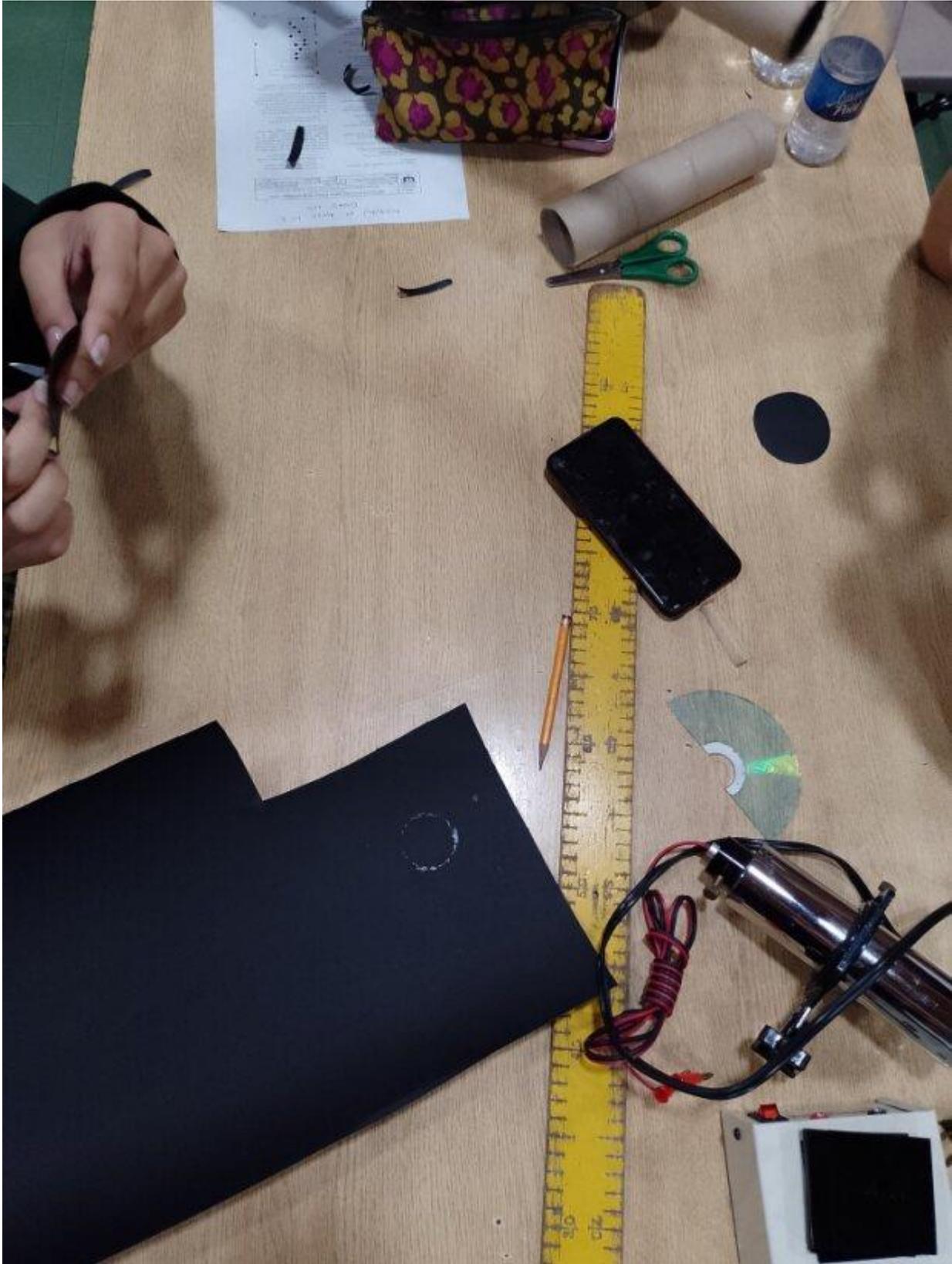
Anexo 1 Recontextualización de biografía y aportes al conocimiento científico de Émilie du Châtelet . Hechos por Jenifer Muñoz López y Alejandro López Cano.

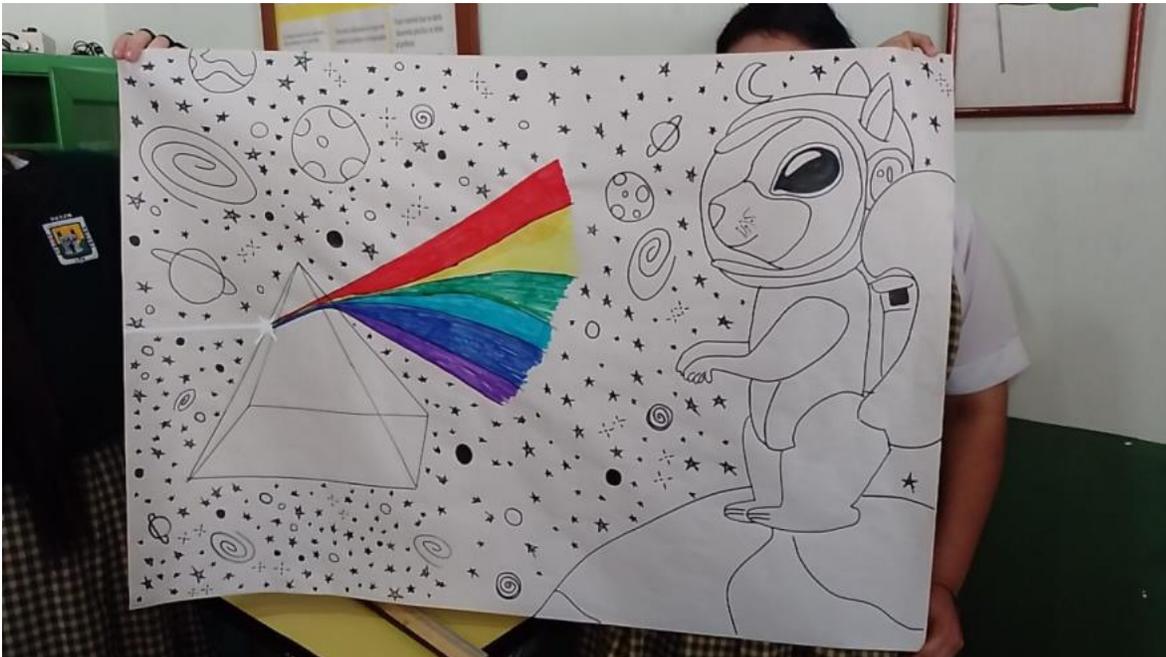
Anexo 2 Recontextualización de biografía y aportes al conocimiento científico de Isaac Newton. Hechos por Jenifer Muñoz López y Alejandro López Cano.

Anexo 3 Recontextualización en simulación de red social sobre biografía y aportes al descubrimiento de la composición estelar de Cecilia Payne. Hecha por Laura Alvarez Ramirez y Sebastián Moreno Parra.

Anexo 4 Consentimiento informado tomando referencia el formato del grupo ECCE

Anexo 5 Elementos para la construcción del espectroscopio.



Anexo 6 Estudiantes usando el instrumento**Anexo 7** Figura hecha por las estudiantes.

Anexo 8 proceso de dispersión de la luz representado por las estudiantes.



Anexo 9 Asistencia a evento académico.



Anexo 10 Carta de aceptación a evento académico



REDLAECIN
Red Latinoamericana en Educación en Ciencias Naturales



Neiva, 05 de Octubre de 2023

Profesores(as)

LAURA ALVAREZ RAMIREZ
ALEJANDRO LÓPEZ CANO
SEBASTIÁN MORENO PARRA
Universidad de Antioquia
Colombia

Cordial saludo.

Agradecemos el envío de su Resumen Corto al **IX Seminario Internacional de Enseñanza en las Ciencias Naturales**, que tendrá lugar en la Universidad Surcolombiana (USCO) en modalidad híbrida del 07 al 10 de noviembre de 2023. En este sentido, nos complace informarle(s) que su Trabajo titulado **“LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DESDE LA EPISTEMOLOGÍA FEMINISTA: UNA PROPUESTA FUNDAMENTADA EN LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA (T4P62)”**, fue **ACEPTADO** para ser desarrollado en el Seminario como **PONENCIA ORAL** en el marco de la Línea Temática **“La enseñanza de las ciencias (biología, química, física, ciencias de la tierra) y el pensamiento crítico en el abordaje de las cuestiones sociocientíficas”**. En este sentido, adjunto se comparte el Template en Power Point propuesto para el diseño de su presentación.

El **Comité Científico** realiza los siguientes comentarios y/o sugerencias:

El texto propone abordar el problema a través de la epistemología feminista de la ciencia, lo que demuestra una conexión clara entre la problemática identificada y el enfoque teórico que se utilizará para abordarla. Sin embargo, queda en vilo la concepción epistemológica feminista a cuestionar y reevaluar, es decir, no se especifica las tradicionales teorías del conocimiento científico desde una perspectiva de género y su comprensión desde las estructuras sociales, culturales y políticas para la producción y validación del conocimiento. De igual forma, el trabajo plantea el diseño e implementación de unidades didácticas basadas en la epistemología feminista para la enseñanza de física, en donde, centran su enfoque en las contribuciones de científicas como Émilie du Châtelet y Cecilia Payne-Gaposchkin. Sin embargo, no se hace claridad si el eje a enseñar es la cinemática, la teorización del movimiento o la astronomía. Es importante hacer claridad la temática que se quiere enseñar.

Desde la **Red Latinoamericana de Educación en Ciencias Naturales (RedLaECiN)** y el **Semillero de Investigación Enseñanza de las Ciencias Naturales (ENCINA)** de la Universidad Surcolombiana le deseamos una jornada de aprendizajes, reflexiones y socialización de experiencias en torno a la enseñanza de las ciencias naturales.

Cordialmente,

PhD. Jonathan Andrés Mosquera
Coordinador General Seminario

E-mail: seminario.redlaecin@usco.edu.co

Redes Sociales: [Facebook](#) – [Instagram](#) – [RevistaLadECiN](#) – [RedLaECiN](#)

Evento en Modalidad Híbrida del 07 al 10 de Noviembre de 2023 – Sede Central
Neiva, Universidad Surcolombiana

Anexo 11 Resultado de aceptación del CIEP**CENTRO DE INVESTIGACIONES EDUCATIVAS Y PEDAGÓGICAS – CIEP**
RESULTADOS CONVOCATORIA TRABAJOS DE GRADO 2023

El Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas informa a los interesados los resultados de la convocatoria en mención:

<i>Número de la propuesta</i>	<i>Título de la propuesta</i>	<i>Estado</i>
TG-016-2023	La enseñanza de la física desde la epistemología feminista: una propuesta fundamentada en la historia y filosofía de la ciencia	Aprobado

