



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Análisis Histórico Epistemológico de los debates de Einstein y Born sobre Mecánica
Cuántica: Una manera de evidenciar el Desarrollo de Habilidades Científicas afines a las
del Siglo XXI**

Cristian Camilo Orozco Valencia

Trabajo de investigación presentado para optar al título de Magister en Educación en Ciencias
Naturales

Asesor

Yirsén Aguilar Mosquera, Magíster (MSc) en Enseñanza de las Ciencias

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Maestría en Educación en Ciencias Naturales

Medellín, Antioquia, Colombia

2025



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita

(Orozco-Valencia, 2025)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Orozco-Valencia, C. (2025). *Análisis Histórico Epistemológico de los debates de Einstein y Born sobre Mecánica Cuántica: Una manera de evidenciar el Desarrollo de Habilidades Científicas afines a las del Siglo XXI* [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Maestría en Educación en Ciencias Naturales , Cohorte VI.

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 Cecilia, Laura y Roselia, por ser abrigo, raíz y aliento en cada tramo del camino.
A Galileo y Groggu, guardianes de mis silencios, por recordarme que la ternura también sostiene.
Y a mí mismo, porque como Alonso Quijano, acredité mi ventura al elegir vivir loco y morir cuerdo
sabiendo que, a veces, solo desde la locura se puede ser verdaderamente libre.

Agradecimientos

Agradezco profundamente al profesor Yirsén Aguilar Mosquera, quien fue testigo de mis primeros pasos como profesor y guía firme en mis primeras sendas como investigador. Su sabiduría serena, su presencia constante incluso en medio de la dificultad, y sobre todo sus preguntas, capaces de habitarme durante días, fueron faros que alumbraron este recorrido.

A la profesora Vanessa Árias Gil, gracias por abrir el espacio para que esta propuesta echara raíces. A los participantes de la investigación, les agradezco el tiempo, la disposición y la generosidad con la que compartieron sus voces en medio de su propio camino académico.

A Juan Pablo Acevedo Quevedo, mi gratitud por las conversaciones donde cabía el mundo: entre ideas, dudas y certezas, su palabra fue compañía y horizonte. A Katty Marchena, compañera de posgrado, gracias por acompañarme hasta el final del proceso con apoyo constante y sincero.

Gracias también a la Universidad de Antioquia, por ofrecerme la beca que hizo posible esta travesía. No solo financió estudios: le dio al niño que una vez tuvo dificultades para aprender a leer la posibilidad de crecer en todas las dimensiones humanas y de escribir, con manos propias, su propio relato.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Capítulo 1. Contextualización	14
1.1 Objetivos.....	22
1.1.1 Objetivo General	22
1.1.2 Objetivos Específicos	22
Capítulo 2. Marco teórico	23
2.1 Enseñanza de las ciencias y el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del Siglo XXI.....	23
2.2 Reflexiones sobre la Naturaleza de la Ciencia (NOS): Una posibilidad para desarrollar habilidades científicas afines a las habilidades para el Siglo XXI	28
2.3 Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en los fundamentos de la perspectiva de Einstein. Un caso para ilustrar el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.....	32
2.3.1 Un debate de Einstein y Born sobre aspectos epistemológicos de su perspectiva de la realidad y de la física cuántica: Un escenario en el que se evidencian habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.....	33
Capítulo 3. Metodología.....	46
3.1 Paradigma, enfoque y método	46
3.2 Contexto de la investigación.....	47
3.3 Informantes y criterios de selección	48
3.4 Recolección de la información	49
3.5 Sistematización y análisis de la información.....	52
3.6 Criterios de credibilidad y aspectos éticos de la investigación	56
Capítulo 4. Hallazgos	59

4.1 La Colaboración en la construcción de explicaciones en ciencias: Tensiones, Acuerdos y Construcción Colectiva del Conocimiento.....	59
4.2 A propósito de los contextos de prácticas dialógicas en los debates de Einstein y Born: Una manera de evidenciar habilidades de pensamiento crítico.....	72
4.3 Las relaciones dialógicas entre Einstein y Born: Una manera de ilustrar el papel de la comunicación en la construcción de explicaciones en ciencias	89
4.4 Dimensiones Cognitivo-epistémicas y Socio-institucionales de la Ciencia en los discursos sobre el debate entre Einstein y Born	101
Capítulo 5. Implicaciones Didácticas	118
Capítulo 6. Consideraciones finales	123
Referencias	133
Anexos	141

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Red de Categorías e Indicios</i>	53
Tabla 2 <i>Selección de Códigos Representativos y su Definición</i>	54
Tabla 3 <i>Ejemplo de Códigos Agrupados en la Codificación Axial.</i>	55

Lista de figuras

Figura 1	<i>Sesiones e Instrumentos Aplicados</i>	51
Figura 2	<i>Codificación por Colores de las Transcripciones</i>	54

Siglas, acrónimos y abreviaturas

UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PISA	Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes
ASCOFADE	Asociación Colombiana de Facultades de Educación
MEN	Ministerio de Educación Nacional
NOS	Naturaleza de la Ciencia
NSTA	National Science Teacher Association [NSTA]
ECCE	Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre la Ciencia y su Enseñanza
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

Este Trabajo de Grado es el informe final del proyecto de investigación desarrollado en el marco de la Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). La investigación tuvo como propósito analizar cómo los aspectos histórico-epistemológicos de la perspectiva de Einstein en los debates con Born sobre la mecánica cuántica posibilitan habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI, tales como la colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico.

Desde un enfoque que articula las habilidades del siglo XXI y las reflexiones sobre la Naturaleza de la Ciencia, se estudia el debate entre Einstein y Born como un caso emblemático que permite explorar dimensiones cognitivo-epistémicas y socio-institucionales de la ciencia. A partir de este análisis, se diseña una propuesta de investigación implementada con estudiantes de últimos semestres de la Licenciatura en Física de la Universidad de Antioquia, centrada en talleres investigativos y discusiones colectivas.

La investigación se enmarcó en un paradigma cualitativo, con enfoque histórico-hermenéutico y método fenomenológico. La producción de información se llevó a cabo mediante la aplicación de cuatro instrumentos en tres momentos de implementación. El análisis de los datos siguió procedimientos de codificación abierta, axial y selectiva. Los resultados evidencian que este tipo de experiencias didácticas permiten problematizar visiones tradicionales de enseñanza de la ciencia, favorecer la construcción colectiva del conocimiento y fortalecer habilidades científicas clave para una formación crítica del profesorado en ciencias.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias, historia y epistemología, Einstein, Born, habilidades del siglo XXI, pensamiento crítico, colaboración, comunicación.

Abstract

This thesis is the final report of the research project conducted within the Master's Program in Science Education at the University of Antioquia (Medellín, Colombia). The study aimed to analyze how the historical and epistemological aspects of Einstein's perspective in his debates with Born on quantum mechanics enable the development of scientific skills aligned with 21st-century competencies, such as collaboration, communication, and critical thinking. Adopting an approach that integrates 21st-century skills with reflections on the Nature of Science, the Einstein–Born debate is examined as an emblematic case for exploring the cognitive-epistemic and socio-institutional dimensions of science. Based on this analysis, an instructional proposal was designed and implemented with final-semester students of the Physics Teacher Education Program at the University of Antioquia, using investigative workshops and collective discussions.

The research was framed within a qualitative paradigm, employing a historical-hermeneutic approach and a phenomenological method. Data were collected through four instruments applied in three stages of implementation. The analysis was conducted through open, axial, and selective coding. The results show that this type of didactic experience allows for a critical questioning of traditional views of science teaching, supports the collective construction of knowledge, and strengthens key scientific skills for the critical education of future science teachers.

Keywords: science education, history and epistemology, Einstein, Born, 21st-century skills, critical thinking, collaboration, communication.

Introducción

La presente investigación se estructura en seis capítulos que permiten al lector recorrer progresivamente los fundamentos, el desarrollo metodológico, los hallazgos, las implicaciones didácticas y las consideraciones finales del estudio. En el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, el cual parte de la identificación de tensiones en el campo de la educación científica, evidenciadas en los bajos desempeños de los estudiantes en las pruebas internacionales PISA y en los resultados de las pruebas Saber Pro en programas de licenciatura. Tales datos permiten señalar dificultades persistentes en la enseñanza de las ciencias, particularmente de la física, como consecuencia de enfoques pedagógicos centrados en el positivismo, en la resolución mecánica de problemas y en una comprensión fragmentada de la ciencia, que reproduce una separación entre sujeto y objeto del conocimiento.

En el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico de la investigación, en el cual se articula la enseñanza de las ciencias con el desarrollo de habilidades científicas afines a las denominadas habilidades del siglo XXI. En este apartado se profundiza en la importancia de promover la reflexión sobre la Naturaleza de la Ciencia como una vía para fortalecer habilidades relacionadas con la colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico. Asimismo, se introduce un análisis del debate epistémico entre Albert Einstein y Max Born, con el propósito de identificar dimensiones cognitivo-epistémicas y socio-institucionales de dicho intercambio, que fueron movilizadas en la implementación como escenarios para promover prácticas dialógicas significativas en la construcción de explicaciones científicas.

En el capítulo 3 se describe el enfoque metodológico de la investigación, la cual se inscribe en el paradigma cualitativo, con un enfoque histórico-hermenéutico y un método fenomenológico, acorde con el interés de comprender las experiencias y sentidos construidos por los participantes. Se precisa que las técnicas empleadas fueron los talleres investigativos y los grupos de discusión, desarrollados a partir de cuatro instrumentos diseñados para ser aplicados en tres sesiones de trabajo. La implementación se llevó a cabo con estudiantes de la práctica pedagógica del programa de Licenciatura en Física de la Universidad de Antioquia. Aquí, también se exponen los criterios de selección de los informantes, así como el proceso de análisis de la información, basado en los procedimientos de codificación

abierta, axial y selectiva, siguiendo el enfoque propuesto por Strauss y Corbin (1988). Esta estrategia permitió organizar e interpretar los datos recogidos con rigor y profundidad.

En el capítulo 4 se presentan los hallazgos de la investigación, el cual se estructura a partir de los objetivos planteados y de las categorías definidas para tal fin. En este capítulo se evidencian los sentidos construidos por los participantes en torno al desarrollo de habilidades científicas mediante el estudio de un caso histórico. En primer lugar, se aborda la colaboración como un eje fundamental en la construcción colectiva de explicaciones en ciencias, destacando las tensiones, acuerdos y formas de negociación que se generaron en las interacciones. Posteriormente, se examinan los contextos de prácticas dialógicas, inspirados en los debates entre Einstein y Born, como escenarios propicios para el ejercicio del pensamiento crítico, especialmente en lo que respecta a la inferencia, auto regulación y toma de postura razonada. En un tercer momento, se analiza el papel de la comunicación en la construcción del conocimiento científico, enfatizando el uso del lenguaje con fines epistémicos, la interpretación de intenciones y la capacidad de los participantes para adaptar sus discursos según sus interlocutores. También se presentan los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia identificados en los discursos de los participantes, en los cuales se reconoce que la ciencia es una práctica situada histórica y socialmente, marcada por disputas teóricas y por el accionar colectivo de las comunidades científicas.

En el capítulo 5 se expone las implicaciones didácticas de la propuesta, resultado de una reflexión crítica por parte del investigador a partir de los hallazgos. En este apartado se argumenta cómo experiencias formativas como la desarrollada en esta investigación permiten resignificar el papel del profesor de ciencias como mediador de prácticas discursivas que integran tanto dimensiones cognitivas como sociales de la ciencia. Se discute también el lugar que ocupa el maestro en formación, particularmente en relación con su capacidad de interpretar la naturaleza de la ciencia, generar escenarios de indagación dialógica y promover el desarrollo de habilidades científicas complejas. Asimismo, se plantean algunos retos para la implementación de este tipo de propuestas.

Por último, en el capítulo 6 se presentan las consideraciones finales, en las que se sintetizan los principales aportes de la investigación y se toma posición respecto a su

relevancia para la enseñanza de las ciencias en la formación inicial de profesores. Se recupera el valor del análisis de casos históricos como estrategia para hacer visible la dimensión humana y debatible de la ciencia, así como su potencial para suscitar procesos reflexivos y colaborativos en los futuros profesores. Se discuten además las limitaciones del estudio y se proponen posibles líneas de investigación futuras.

Finalmente, se incluyen los anexos que acompañan el trabajo, entre ellos los instrumentos de recolección de información, ejemplos de productos elaborados por los participantes y consentimiento informado y protocolo ético.

Capítulo 1. Contextualización

Algunas investigaciones (UNESCO, CEPAL, & UNICEF, 2022), señalan que por muchos años Colombia ha sido un país caracterizado por la desigualdad social y por múltiples problemáticas a nivel económico y político, aspectos que, según estas investigaciones, influyen notablemente en todas las dimensiones humanas, incluida la educación. Sobre este particular puede decirse que, las tendencias educativas de la región de América Latina se han insertado en un contexto inestable, con la amenaza constante del aumento de la desigualdad social, decrecimiento económico y crisis ambiental del planeta, cuestiones que se agudizaron por la pandemia que expandió la emergencia social y afectó a todos los sectores de la sociedad.

Al respecto, Rodríguez (2022) afirma que, a partir de la emergencia sanitaria provocada por la COVID-19, se generó un rezago escolar que propició una ralentización en los procesos educativos, lo que se ha traducido en un decrecimiento de los resultados académicos: los estudiantes no aprenden al ritmo esperado y no alcanzan los objetivos y propósitos de formación que plantean las políticas educativas del país. Complementario a lo anterior, Melo-Becerra et al. (2021) señalan que gran parte de las dificultades que se atraviesan hoy en día se deben a la pandemia, lo cual podría cuestionarse, dado que, incluso antes de esta coyuntura, ya era evidente la desaceleración y el estancamiento en el avance de los logros educativos trazados por cada país.

En el caso particular de la educación colombiana, Qualificar (2012) citado por Organization for Economic Cooperation and Development [OECD] (2016) afirma que “lo que se enseña en Colombia se aleja mucho de la vida cotidiana de los estudiantes; los asuntos que les interesan son raras veces abordados o incluidos en las principales asignaturas” (p. 235).

Al respecto, podría decirse que cuando los estudiantes no encuentran que la educación se conecta con sus vidas o no ven su relevancia en el mundo que los rodea, la deserción escolar se convierte en un problema, la motivación por aprender disminuye y, en consecuencia, los puntajes en las pruebas nacionales e internacionales se desploman (OECD, 2016).

Una situación que ejemplifica las dificultades que enfrenta Colombia, en la enseñanza, está referida a los resultados que se obtuvieron en las pruebas PISA en los años 2018 y 2022. En la prueba de ciencias se establecen 6 niveles de desempeño: El nivel 6 señala que los estudiantes pueden aprovechar una variedad de ideas y conceptos científicos que están interrelacionados con el mundo físico, la vida, las ciencias de la tierra y el espacio, para utilizar el contenido, el conocimiento procedimental y epistémico afín de ofrecer explicaciones, interpretar datos, aprovechar el conocimiento, justificar sus elecciones ante una variedad de situaciones conocidas y desconocidas. Por su parte, el nivel dos establece el umbral de referencia, a partir de este los estudiantes comienzan a demostrar competencias científicas para participar en un discurso razonado sobre ciencia y tecnología, lo que implica conocimientos científicos básicos y una comprensión básica de la investigación científica (Teniendo en cuenta que no identifica un nivel suficiente de alfabetización científica, dado que requieren de apoyo para abordar preguntas relacionadas con las ciencias). Los estudiantes con desempeños por debajo de este nivel dos se consideran con bajo rendimiento en ciencias (OECD, 2019; OECD, 2023).

Para ilustrar la situación, veamos los resultados en las pruebas PISA de los últimos años: en el año 2018 en Colombia en el área de ciencias, el 2.1% de los estudiantes se ubicó por debajo del nivel 1b, el 15.3% en el nivel 1b, el 33% en el nivel 1a, el 29.6% en el nivel 2, el 15.4% en el nivel 3, el 4.2% en el nivel 4, el 0,4% en el nivel 5 y el 0% en el nivel 6. Estos datos señalan que más del 50% de los estudiantes colombianos presentaron bajo rendimiento en el área de ciencias (OECD, 2019).

En el año 2022, los resultados en el área de ciencias son aún más preocupantes: el 3.1% de los estudiantes se ubicó por debajo del nivel 1b, el 16.5% en el nivel 1b, el 31.9% en el nivel 1a, el 28.3% en el nivel 2, el 15.0% en el nivel 3, el 4.6% en el nivel 4, el 0.7% en el nivel 5 y el 0% en el nivel 6. Tal como se evidencia, si bien se presenta un leve mejoramiento en los niveles 2, 3 y 4, el 51, 5% de los estudiantes presentaron bajo rendimiento académico en el área de las ciencias (en el 2018 el 50% presentó bajo rendimiento). Según estos resultados, el aprendizaje de las ciencias en lugar de mejorar pareciera que está empeorando, situación que exige una pronta intervención en la enseñanza de las ciencias (OECD, 2023).

Bajo esta línea de pensamiento, considerando que la enseñanza de las ciencias naturales está estrechamente vinculada con la formación de quienes la imparten, resulta necesario examinar el proceso formativo de los futuros profesores. En este sentido, la Asociación Colombiana de Facultades de Educación [ASCOFADE] (2024) realizó un análisis de los resultados de los estudiantes de licenciatura en las pruebas Saber Pro en el periodo comprendido entre 2016-2021. En dicho estudio, diversos indicadores sugieren que ciertas dificultades en el desarrollo de habilidades fundamentales podrían estar incidiendo en la preparación de los licenciados colombianos.

Por ejemplo, en el informe se observa que las deficiencias en el razonamiento cuantitativo de los estudiantes de las facultades de educación tienden a aumentar con el tiempo, así mismo, se evidencia que las pruebas de comunicación escrita han mostrado una tendencia a la baja. Cabe señalar también, la disminución progresiva de los puntajes en lectura y comunicación escrita, lo que subraya la necesidad de fortalecer, en los programas de formación de profesores, habilidades de comprensión, análisis, redacción y argumentación. En cuanto a las competencias ciudadanas, los resultados muestran que los estudiantes del núcleo básico de Educación obtuvieron los puntajes más bajos en comparación con otras áreas del conocimiento. Esta competencia ha mostrado variaciones en el tiempo: los puntajes disminuyeron entre 2016 y 2018, alcanzaron un pico en 2020 y volvieron a descender en 2021. Además, la distribución por niveles de desempeño indica que, durante todo el período analizado, la mayoría relativa de los estudiantes se ubicó en el nivel más bajo.

Estos resultados parecieran coincidir con lo planteado por Hodson (2003), quien señala que muchos estudiantes no aprenden lo que propone el profesor, dado que su comprensión de la naturaleza y los métodos de la ciencia son a menudo incoherentes, distorsionados y confusos.

A la problemática anterior se suma que, en los primeros años de escolaridad, los estudiantes muestran una gran motivación por la ciencia; sin embargo, esto tiende a disminuir con el tiempo, lo que en algunos casos lleva incluso al abandono del proceso escolar. Esta pérdida de interés ha sido atribuida a diversas razones, entre ellas, la manera en que se estructura la enseñanza de las ciencias. Algunos autores (Carracosa y Gil, 1985) han señalado

que una posible causa es la desconexión entre el aprendizaje y las inquietudes de los estudiantes, lo que sugiere la necesidad de repensar los enfoques didácticos para fortalecer su compromiso con la ciencia.

Sumado a las problemáticas planteadas, también están los problemas asociados a la perspectiva dogmática de ciencia, privilegiada en la enseñanza, en esta se considera como factor clave la objetivación de la naturaleza, en la que se privilegia la enseñanza de los contenidos sin relación alguna con los procesos sociales que son necesarios para comprender ciertas dinámicas de producción y validación del conocimiento científico, lo que también puede restringir el desarrollo de las habilidades que se requieren para enfrentar los retos que impone el mundo actual (Hodson, 2003).

Complementario a lo anterior, Malagón et al. (2013) afirman que en la perspectiva dogmática que, a veces se favorece en la enseñanza de las ciencias, subyace una pretensión de objetividad, neutralidad e independencia del objeto y el sujeto, dado que se considera que el mundo tiene existencia propia y que es independiente de quien lo estudia. Bajo estas circunstancias, el conocimiento científico solo es aceptable bajo criterios absolutos de verdad. Como consecuencia de estas consideraciones, en la enseñanza de las ciencias, el profesor asume la ciencia y el conocimiento como algo acabado, incuestionable y susceptible de ser únicamente transmitido y memorizado (Labra, 2013; Ángel, 2011; Gonzáles & Hernández, 2014).

Bajo estas circunstancias, la enseñanza suele centrarse en el uso de información y datos sin una reflexión profunda sobre su significado. Como consecuencia, los estudiantes no desarrollan las habilidades necesarias para seleccionar información, integrarla con diferentes fuentes y traducirla entre distintos códigos (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Además de las problemáticas mencionadas, se observa una tendencia a la compartimentalización en los procesos de enseñanza-aprendizaje, donde la ciencia se asume como un conjunto de áreas cerradas y sin interacción recíproca. Es decir, no se establece un diálogo multidisciplinar que facilite la resolución de problemas complejos ni su vinculación con otros ámbitos, como lo social, el ambiente, o las relaciones con el otro y con lo otro (Campanario, 2000).

Sobre lo anterior, también se puede decir que, en este modo dogmático de significar y abordar la ciencia y su enseñanza, pareciera no tener interés examinar las dimensiones humanas, sociales y culturales de la actividad científica, dado que el interés se centra en un producto acabado e incuestionable, lo cual, a juicio del investigador, puede limitar la articulación entre la actividad científica y el contexto social y en consecuencia, pueden presentarse dificultades para comprender la ciencia como una actividad humana conectada con nuestra vida, con el diario vivir y con intereses sociales y económicos (González & Hernández, 2014).

Otra consecuencia de lo anterior está referida a que en el aula se evidencia una enseñanza de las ciencias aislada de su historia, lo que según Matthews (2014), plantea otros desafíos en la educación científica, dado que cuando se omiten las dimensiones históricas y filosóficas de la ciencia, la enseñanza de los contenidos podría ser presentada desprovista de contextos y los conceptos aislados y fragmentados.

Campanario (1998) señala que esta fragmentación elimina las conexiones lógicas entre los conceptos científicos y los problemas que buscan resolver. Al perderse estos vínculos, los estudiantes tienen dificultades para reconocer cómo el conocimiento científico incide en la solución de problemas dentro de sus contextos de interacción.

Sumado a lo anterior está la imposibilidad de comprender el alcance formativo de la ciencia, lo que impide situar en el foco, la formación de seres humanos para la acción, cultivando la capacidad para que los estudiantes participen de manera significativa en una sociedad compleja y diversa: formar ciudadanos que tomen decisiones informadas y que sean capaces de prever las consecuencias de sus actos y en especial, que sean capaces de construir desde las diferencias.

En este contexto de consideraciones conviene tener en cuenta que el Ministerio de Educación Nacional (en adelante [MEN], 2015), en las Normas Técnicas Curriculares orienta que el objetivo de la educación colombiana es formar mejores seres humanos, ciudadanos con valores, éticos y que convivan en paz. Propósito que debe ser alcanzado con una educación de calidad que logre disminuir las brechas de desigualdad social y que permita a los sujetos participar activamente de toda la sociedad, lo que implica que se propenda por una formación para la vida, en la que los aprendizajes puedan ser aplicados para solucionar

problemas nuevos en situaciones cotidianas. En síntesis, formar en ciencias supone formar ciudadanos con habilidades para enfrentar los nuevos desafíos que impone el siglo XXI.

Las consideraciones que hasta aquí se han hecho muestran que los propósitos planteados en las normas técnicas curriculares parecen estar ausentes en la formación en ciencias. Se ha señalado que, en la enseñanza, se privilegia la transmisión de lo ya establecido y el aprendizaje se centra solo en la memorización de aquello que en el aula se ha enseñado. Por esta razón, da la impresión de que en la enseñanza de las ciencias no fuera evidente el propósito de que aprender ciencias tiene la intencionalidad de formar para la acción, a partir del desarrollo o fortalecimiento de ciertas habilidades (Hodson, 2013).

Como es lógico pensar, las problemáticas en la enseñanza de las ciencias no escapan a la enseñanza de la física y como caso particular se pueden citar las vivencias del investigador en su práctica pedagógica: he podido evidenciar las dificultades para reflexionar, comprender los conceptos de las temáticas abordadas, plantearse preguntas, tener hábitos de estudio organizados, comunicarse efectivamente, trabajar en equipo, pensar críticamente, entre otras. Los resultados de esta experiencia como profesor coinciden con lo planteado por Fraser et al. (2014) al señalar que una de las principales deficiencias en la enseñanza de la física radica en la falta de comprensión conceptual por parte de los estudiantes, incluso cuando resuelven problemas de libros de texto. Según estos autores, esta dificultad surge porque la enseñanza se centra en la resolución mecánica de ejercicios, sin promover el desarrollo de habilidades de análisis y argumentación que permitan establecer relaciones entre los conceptos científicos y problemáticas que involucren los contextos sociales o del actuar ciudadano.

Al respecto Tobón y Perea (2016) sostienen que los estudiantes enfrentan dificultades para comprender la física tanto en la educación secundaria como en la universidad, ya que los cursos suelen centrarse en la manipulación matemática de ecuaciones sin fomentar una apropiación conceptual profunda. A esto se suma que la física parece no operar bajo el sentido común y requiere de un esquema de razonamiento científico especial, lo que puede generar una percepción de desconexión con otros saberes. Como resultado, las explicaciones de los docentes suelen centrarse en enunciados aislados, lo que dificulta su integración en la formación académica y profesional del estudiante.

Según estos mismos autores, en la enseñanza de la física no se generan espacios en los que los estudiantes puedan confrontar críticamente sus ideas previas. Esto impide que, durante la clase, logren identificar cuáles de sus concepciones son inadecuadas. En consecuencia, terminan expresando esas mismas ideas con una terminología propia de la ciencia, aunque el significado que subyace no haya cambiado.

Las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la física, que aquí se han planteado, señalan la necesidad de replantear ciertas estrategias didácticas utilizadas. No se trata solo de mejorar la comprensión conceptual de la disciplina, sino también la de generar espacios en los que los estudiantes desarrollen habilidades que les permitan participar activamente en la construcción de su conocimiento, la toma de decisiones informadas y la deliberación en asuntos de interés colectivo. En este sentido, la formación en ciencias no solo debe centrarse en la apropiación de conceptos, sino también en el desarrollo de habilidades que permitan a los estudiantes analizar, argumentar y actuar de manera crítica y constructiva en la sociedad.

Lo expuesto, permite pensar que, los enfoques que se privilegian en la enseñanza de la física parecieran no satisfacer las necesidades emergentes de las sociedades actuales, lo que sugiere la necesidad de enseñar, promover y evaluar de acuerdo con las nuevas características y contextos de los estudiantes del siglo XXI. Esto requiere, por tanto, implementar estrategias que permitan el desarrollo de habilidades relacionadas con el pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración (construcción social) y la comunicación, habilidades que indudablemente ayudan a construir un mejor futuro para todos (Thornhill-Miller, et al., 2023). Ante estas consideraciones, surge la siguiente cuestión ¿Qué enfoque de la ciencia y qué estrategias permiten movilizar el desarrollo de las habilidades que se requieren para enfrentar los desafíos del siglo XXI?

Para construir rutas alternativas sobre la cuestión anterior, algunos investigadores (Romero, 2013; Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016; Acevedo-Díaz et al., 2016; García-Carmona, 2023; García-Carmona, 2024) consideran que la reflexión sobre la Naturaleza de la Ciencia (NOS) puede ser una opción relevante. No obstante, diversas investigaciones reportan que este enfoque también presenta dificultades, ya que tanto estudiantes como profesores carecen de una comprensión adecuada de la NOS. Esto podría deberse a la

pluralidad de definiciones existentes, lo que conlleva a que, en su conceptualización, se omita un aspecto fundamental: no solo es necesario conocer la ciencia, sino también comprender cómo se genera, evoluciona a lo largo de la historia y se vincula con la sociedad y la cultura (Aduriz-Bravo et al., 2001). En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, esto se relaciona estrechamente con la idea de enculturación científica y la formación de ciudadanos para el siglo XXI.

Desde esta perspectiva, el estudio de la historia y filosofía de las ciencias no solo permite comprender la naturaleza dinámica y contextual del conocimiento científico, sino que también ofrece herramientas para analizar críticamente los debates que han dado forma a la ciencia (en este caso la física). Siguiendo a Ayala (2006), los estudios histórico-epistemológicos no se limitan a reconstruir el pasado, sino que invitan a establecer un diálogo con los textos y autores, promoviendo formas de pensamiento que trascienden la mera acumulación de información y fomentan el análisis, la argumentación y la toma de posición fundamentada. En este marco, se elige la controversia entre Einstein y Born sobre la mecánica cuántica ya que para el investigador resulta especialmente relevante, dado que ilustra cómo la construcción del conocimiento en ciencia no es un proceso lineal, sino un espacio de confrontación de ideas en el que influyen tanto factores teóricos como contextuales.

El análisis de la correspondencia entre Einstein y Born ofrece una vía privilegiada para examinar cómo se configuran y transforman las interpretaciones científicas en contextos de debate sobre algunos fundamentos de mecánica cuántica. Este diálogo no solo evidencia diferencias conceptuales, sino que permite comprender cómo la ciencia se desarrolla en un proceso continuo de discusión y refinamiento de ideas. Sin embargo, este análisis no se plantea como un fin en sí mismo, sino como un caso particular dentro de un proyecto más amplio que busca comprender cómo los estudios histórico-epistemológicos pueden contribuir a la enseñanza de la física y al desarrollo de habilidades clave en el siglo XXI.

En este sentido, el estudio del debate entre Einstein y Born funciona como un escenario que permite reflexionar sobre la NOS y sus implicaciones en la educación científica. Más allá de los detalles específicos de su discusión, el objetivo es explorar de qué manera este tipo de análisis puede favorecer habilidades científicas afines a las habilidades

de siglo XXI. Así, este trabajo se inscribe en una perspectiva más amplia, en la que la historia y epistemología de la ciencia no solo ofrecen contenidos relevantes para la enseñanza, sino que también se constituyen en estrategias metodológicas para fomentar una comprensión más profunda de la física y sus procesos de construcción del conocimiento.

Las consideraciones anteriores motivan a indagar por: ¿Cuáles son los aportes del análisis histórico y epistemológico de la perspectiva de Einstein en los debates con Born, sobre la mecánica cuántica al desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Analizar cómo los aspectos histórico-epistemológicos de la perspectiva de Einstein en los debates con Born, sobre la mecánica cuántica, posibilitan habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia presentes en los debates entre Einstein y Max Born, con potencial para posibilitar habilidades relacionadas con el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración.
- Describir cómo los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia, presentes en los discursos de los participantes sobre los debates entre Einstein y Born, posibilitan la emergencia de habilidades científicas del siglo XXI.

Capítulo 2. Marco teórico

Este marco teórico se estructura a partir de los propósitos de la investigación. En primer lugar, se sitúa la reflexión en la enseñanza de las ciencias y el desarrollo de habilidades para el siglo XXI. Luego, se discute la importancia de reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia como una estrategia para fomentar el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI en el ámbito educativo. Por último, se explora un caso específico que ilustra cómo el debate entre Einstein, y Born sobre aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la física proporciona un escenario para el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.

2.1 Enseñanza de las ciencias y el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del Siglo XXI

La enseñanza de las ciencias es un campo de investigación que va más allá de la transmisión de conceptos, leyes y principios científicos, ya que también abarca los procesos que conducen a la construcción de explicaciones científicas. Estos procesos permiten una reflexión hermenéutica sobre la relevancia de determinados conocimientos científicos para la sociedad y la necesidad de su enseñanza (Duit, 2006; Duit, 2012).

Lo anterior, está en estrecha relación con la idea de alfabetización científica, la cual implica comprender las dinámicas de la práctica científica, es decir, cómo la comunidad científica genera, justifica, evalúa, valida y utiliza el conocimiento científico. Para estos propósitos, se requieren del desarrollo de habilidades propias que permitan entender que los procesos de construcción de conocimiento científico se desarrollan a partir de explicaciones que dan sentido a datos y que dicho proceso deviene de una construcción social en la que la disposición a convencer y ser convencido se constituye en un factor clave (Driver et al., 2000).

Complementario a lo anterior, Özdem et al., (2010); Choi et al., (2011) y Turiman et al. (2012) señalan que en la alfabetización científica también es importante la comunicación, la colaboración, el pensamiento sistemático para la resolución de problemas, el uso de evidencias para respaldar afirmaciones, como también, aprender a juntar ideas y trabajar con los demás para encontrar soluciones novedosas a problemáticas desafiantes.

En síntesis, la alfabetización científica debe ser un objetivo de la enseñanza de la ciencia y no puede limitarse a conocer conceptos, sino que también debe abarcar la comprensión de cómo se genera y justifica el conocimiento en la ciencia. Esto exige habilidades que permitan interpretar, cuestionar y aplicar el conocimiento en distintos contextos. En esta línea, Etkina et al. (2006) definen las habilidades científicas como los procedimientos, procesos y métodos fundamentales que los científicos emplean para construir conocimiento y resolver problemas experimentales, destacando que estos no emergen de manera natural, sino que requieren procesos conscientes e intencionados.

De acuerdo con los propósitos de esta investigación, las habilidades científicas aquí abordadas se entienden en el sentido propuesto por Etkina et al. (2006). Estas incluyen la representación de fenómenos en distintos formatos, la habilidad para formular y probar explicaciones cualitativas o relaciones cuantitativas, la capacidad de ajustar modelos en función de nueva información, el análisis de datos, la evaluación crítica y la comunicación efectiva de resultados. En consonancia con los estándares propuestos por el MEN (2004), estas habilidades son esenciales para la formación ciudadana en un mundo dinámico y demandante. En este sentido, más allá de conocer conceptos, se busca que los estudiantes desarrollen capacidades para argumentar, investigar y colaborar en la construcción de explicaciones.

Desde esta perspectiva, la formación en ciencias es, a la vez, formación ciudadana. Comprender y aplicar el conocimiento científico implica desarrollar habilidades fundamentales para la participación en la sociedad. Así, el aprendizaje de las ciencias no solo responde a una necesidad disciplinar, sino que también permite a los estudiantes interactuar con su entorno, enfrentar problemas reales y contribuir de manera reflexiva y responsable a su comunidad.

En la literatura actual, suele acuñarse el término de habilidades del siglo XXI para definir algunos estándares sobre el conocimiento y los atributos que requieren ser aprendidos por parte de los estudiantes. En este sentido, dichas habilidades se refieren a aquellas que son necesarias para relacionarse, comunicarse, trabajar de manera creativa y colaborativa, la capacidad de adaptarse, autogestionar o ajustar las estrategias y enfoques para lograr objetivos (Bao & Koenig, 2019).

Consecuente con lo anterior, en esta investigación tomamos como referencias las habilidades del siglo XXI, reconocidas por Fiszbein et al. (2016) como aquellas habilidades, capacidades y características humanas que deben desarrollar los individuos en entornos sociales, económicos y en el marco de las sociedades del conocimiento. De esta manera, desde las políticas educativas en América Latina, se ha sugerido concentrarse en el conjunto de habilidades de orden superior del siglo XXI, que incluye la creatividad, el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración (usualmente conocidas en la literatura como las 4C). Estas habilidades se dividen en subcategorías que tienen en cuenta hábitos de aprendizaje durante toda la vida, actitudes, comportamiento, identidad con la comunidad, valores de ciudadanía, entre otras.

Sobre este particular, resulta apropiado decir que, las habilidades del siglo XXI pueden tener un rol importante para favorecer que las personas participen y contribuyan en las sociedades del conocimiento, lo que implica que en las aulas no se promueva una desconexión con lo que sucede fuera de las fronteras académicas, sino que, por el contrario, se integren las problemáticas locales con las dinámicas de la escuela, conectando los ejercicios académicos con la realidad (borrando fronteras entre la transmisión de conocimiento y la puesta en práctica del conocimiento); en otras palabras, en el aula se deben generar espacios donde se dé un diálogo con el entorno, entendiendo que los estudiantes habitan un territorio con retos, problemas, necesidades, oportunidades, dado que, en el contexto social, económico y político, se requiere de individuos con habilidades relacionadas con el pensamiento crítico, la colaboración, la creatividad y la comunicación (Vélez & Cardona, 2021; Murugiah, 2020; Abaniel, 2021).

Consecuente con las problemáticas planteadas, en esta investigación se reconoce que es necesario promover, en la enseñanza de la ciencia, el diálogo multidisciplinar entre saberes, a fin de desarrollar las habilidades que se requieren para enfrentar los desafíos del siglo XXI, en especial, potenciar en los estudiantes, la colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico.

En particular, en esta investigación se abordó la colaboración, como aquella capacidad de trabajar con otros, adaptarse a diversos roles y responsabilidades, respetando las diferencias de pensamiento. Así mismo, establecer y alcanzar metas grupales e

individuales, mediante el trabajo en equipo multidisciplinarios, proyectos integradores, que involucren a diferentes actores y comunidades en conexión con las diferentes ramas del saber (Rachmadtullah et al., 2020). En ese sentido, la colaboración busca establecer un compromiso mutuo para lograr un objetivo, lo que requiere que los participantes compartan metas, recursos y representaciones. Esto no solo implica relacionarse con respeto y confianza (Thornhill-Miller et al., 2023), sino también reconocer que el conocimiento es un producto social, construido a través del diálogo, la confrontación de ideas y la negociación de significados dentro de una comunidad.

Con base a lo anterior, en esta investigación se asume que la colaboración implica capacidad para planificar y tomar decisiones grupales, aportar recursos, ideas, esfuerzos y apoyar a los miembros del grupo; poseer la habilidad para monitorear, reflexionar y adaptar procesos individuales y grupales a fin de beneficiar al grupo (Evans, 2020).

Por otra parte, de acuerdo con Thornhill-Miller et al. (2023), asumimos la comunicación, en su definición más básica, como el intercambio de información con el propósito de modificar el contexto epistémico de los demás. Esto implica no solo transmitir contenidos, sino también generar efectos en los interlocutores, lo cual resalta su dimensión pragmática. Así, la comunicación se entiende como una acción situada que compromete múltiples capacidades: expresarse de forma oral o escrita con dominio del sistema comunicativo, y comprender las intenciones y perspectivas de los otros para establecer ideas comunes.

Según The Partnership for 21st Century Learning (2015), la comunicación puede apreciarse cuando los estudiantes pueden: articular pensamientos e ideas, utilizando habilidades de comunicación oral, escrita y no verbal en una variedad de formas y contextos; escuchar para descifrar el significado, conocimientos, valores, actitudes e intenciones; utilizar la comunicación para informar, instruir, motivar, persuadir, entre otras.

Por otro lado, el pensamiento crítico lo entendemos como la capacidad de comprender y establecer interconexiones entre sistemas a través de razonar, tomar decisiones complejas, compilar y analizar. El pensamiento crítico tiene que ver con la resolución de problemas dado que está vinculado a la habilidad de entender problemas complejos y conectar información con otra que aparentemente no está vinculada, buscando que aparezcan varias perspectivas

que ayuden a encontrar soluciones (The Partnership for 21st Century Learning, 2015; Rachmadtullah et al., 2020). Podría decirse que el pensamiento crítico es entonces la capacidad de evaluar la calidad epistémica de la información y actuar en consecuencia a la evaluación realizada (Pasquinelli et al., 2021).

En este contexto, el pensamiento crítico se manifiesta en los estudiantes cuando son capaces de realizar diversas acciones: interpretar el significado y el contexto de la información proporcionada, discernir los argumentos a favor y en contra para tomar decisiones fundamentadas, hacer inferencias pertinentes, evaluar la solidez, credibilidad y confiabilidad de la información y su fuente, ofrecer explicaciones claras sobre cómo se puede interpretar la información y verificar el razonamiento, y autorregularse al identificar posibles conflictos entre conclusiones, aclarar conceptos y verificar la integridad de la información (Facione, 1990; Facione, 2011; Cáceres, et al., 2020).

Aunque la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico son reconocidas como habilidades generales aplicables en diversos campos, estas también son inherentes al quehacer científico. La comunicación permite que los científicos no solo compartan sus hallazgos con la comunidad, sino que también sometan sus ideas al escrutinio crítico, un proceso esencial para la validación del conocimiento. La colaboración es igualmente crucial, ya que la ciencia es un esfuerzo colectivo, donde los equipos interdisciplinarios combinan conocimientos y metodologías para resolver problemas y construir conocimiento científico. Igualmente ocurre con el pensamiento crítico, ya que implica cuestionar supuestos, evaluar evidencias y formular explicaciones fundamentadas. En este sentido, es lícito afirmar que, estas habilidades no son solo auxiliares, sino pilares fundamentales para la construcción y la validación del conocimiento científico.

Por todo lo anterior, en esta investigación se considera que las reflexiones sobre la NOS pueden generar un contexto propicio para articular algunos aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia con el desarrollo de habilidades que se requieren para intervenir los desafíos del siglo XXI.

2.2 Reflexiones sobre la Naturaleza de la Ciencia (NOS): Una posibilidad para desarrollar habilidades científicas afines a las habilidades para el Siglo XXI

Durante décadas, los investigadores han sostenido que es importante enseñar la NOS para preparar a los estudiantes para ingresar a la sociedad como individuos con alfabetización científica (Driver et al., 1996; Lederman et al., 2013; Thomas y Durant, 1987; Shamos, 1995).

Según la National Science Teacher Association [NSTA], (2020), la NOS se ocupa de la comprensión de cómo funciona la ciencia, sus límites, sus valores y los factores que influyen en su desarrollo y es considerada fundamental para la alfabetización científica. De acuerdo con Adúriz-Bravo et al. (2006), esta comprensión está mediada por la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia, disciplinas que reflexionan sobre el conocimiento y la actividad científica, analizando procesos, condiciones, resultados y comunicación científica. Al respecto, algunos autores (Romero, 2013; Aduriz Bravo, 2005) consideran que esta línea de trabajo es invaluable para la enseñanza de las ciencias naturales.

Por otra parte, si bien no existe consenso sobre la definición de la NOS, en esta investigación coincidimos con Acevedo-Díaz et al. (2016) en asumir la NOS como un concepto dinámico y poliédrico que aborda las características fundamentales de la ciencia como una forma particular de construcción del conocimiento. Desde una perspectiva equilibrada, puede entenderse a través de dos categorías macro: como un sistema cognitivo-epistémico, que abarca los procesos de generación, justificación y estructuración del conocimiento, y como una institución social, donde influyen factores históricos, culturales, políticos y normativos (Irzik & Nola, 2023). Estas categorías permiten reconocer que la NOS no es homogénea en todas las disciplinas, sino que cada campo del conocimiento adopta enfoques epistemológicos y metodológicos particulares. Por ejemplo, en física, la relación entre matemáticas y teoría es constitutiva, lo que otorga a los modelos matemáticos un papel central en la descripción y predicción de fenómenos, mientras que en biología predominan enfoques más descriptivos. Así, comprender la NOS implica reconocer la diversidad de prácticas científicas y su inserción en contextos históricos y sociales.

Bajo esta línea de pensamiento García-Carmona (2024) expone que las reflexiones acerca de la NOS recogen e integran aspectos epistémicos y no epistémicos, dado que el

conocimiento científico es construido socialmente dentro de una comunidad científica que es fuertemente influenciada por estos dos factores en el mismo grado o nivel.

Las categorías propuestas por Irzik y Nola (2023) y la distinción entre factores epistémicos y no epistémicos apuntan, en esencia, a la misma realidad: la ciencia como una actividad humana compleja donde la producción del conocimiento está inextricablemente ligada a su contexto social e institucional. La categoría de la ciencia como un sistema cognitivo-epistémico abarca los procesos de construcción, validación y estructuración del conocimiento, lo que incluye tanto la observación y la experimentación como la formulación de teorías y modelos. A su vez, la categoría de la ciencia como una institución social engloba elementos históricos, culturales, normativos y políticos que también influyen en la práctica científica. Sin embargo, estos factores tradicionalmente considerados “externos” a la ciencia no solo condicionan su desarrollo, sino que también modelan sus criterios epistémicos, como los estándares de justificación, los valores de objetividad y los enfoques metodológicos. Por esta razón, los llamados factores no epistémicos no pueden ser completamente separados de los epistémicos, ya que ambos operan en conjunto dentro de la estructura de la ciencia. Así, la distinción entre estas dos dimensiones no refleja una diferencia ontológica, sino más bien un énfasis analítico que puede generar una separación artificial.

Esto quiere decir que cuando se reflexiona sobre la NOS, la reflexión se centra en reconocer que la ciencia no solo es investigación epistémica sobre cómo funciona la naturaleza, sino que también es una institución social, lo que implica asumir que hay valores que operan en la ciencia y que influyen en ella tales como los sociales, los políticos, económicos, ideológicos, entre otras (Irzik y Nola, 2023).

Para la enseñanza de estos aspectos, es conveniente tener en cuenta un enfoque de enseñanza de la NOS explícito y reflexivo (Acevedo-Díaz, 2009; Rudge y Howe, 2009). Es decir, diseñar un contexto lo suficientemente significativo para ayudar a tomar conciencia y examinar los marcos conceptuales relacionados con la NOS.

En este contexto, resulta crucial identificar tanto los aspectos cognitivo-epistémicos como los socio-institucionales que subyacen a esta perspectiva de la naturaleza de la ciencia (NOS). En relación con los primeros, pueden destacarse tres componentes clave. Uno de ellos es la distinción entre observación e inferencia: la observación se refiere a aquello que es

accesible directamente a través de los sentidos o sus extensiones y se caracteriza por ser descriptiva, mientras que las inferencias son indirectas y se basan en manifestaciones o efectos observables relacionados. En segundo lugar, es relevante considerar la diferencia entre teorías y leyes científicas, siendo las leyes declaraciones que describen relaciones entre fenómenos observables, mientras que las teorías son explicaciones inferidas de dichos fenómenos. Por último, es importante reconocer que la ciencia no se limita únicamente a la observación del mundo natural, ya que implica la invención de explicaciones y la generación de ideas que requieren imaginación y creatividad.

En relación con lo anterior, desde los aspectos socio-institucionales pueden abordarse cuestiones tales como: el ethos científico, la certificación social, valores sociales, aspectos organizativos, políticos y financieros de la ciencia (Erduran & Dagher, 2014). Sobre esto, Aikenhead & Ryan (1992) señalan que se pueden comprender aspectos como la responsabilidad social de los científicos, contribución al pensamiento social, así mismo motivaciones personales, valores e ideologías de los científicos, interacciones sociales y colectivización, decisiones científicas, entre otras.

Desde una perspectiva cognitivo-epistémica, comprender la naturaleza de la ciencia implica reconocer que no todo conocimiento científico se deriva directamente de la observación. La interpretación de los fenómenos requiere procesos inferenciales que permitan establecer relaciones y explicaciones más allá de lo perceptible. Diferenciar entre teorías y leyes científicas es clave para entender que la ciencia no solo describe regularidades de la naturaleza, sino que también construye explicaciones fundamentadas en evidencia. Este enfoque destaca el papel de la creatividad en la formulación de ideas científicas, lo que a su vez, demanda habilidades para evaluar críticamente la información y fundamentar decisiones con base en el análisis reflexivo.

Por otro lado, los aspectos socio-institucionales de la NOS resaltan la ciencia como una práctica discursiva en la que la comunicación es fundamental para la construcción del conocimiento. La formulación y defensa de argumentos basados en evidencia requieren no solo la capacidad de expresar ideas con claridad y persuasión, sino también la disposición al diálogo y la negociación de significados. Además, al concebir la ciencia como una empresa social influenciada por valores, factores organizativos y contextos políticos, se enfatiza la

importancia de la colaboración, la interacción entre distintas perspectivas y la resolución conjunta de problemas.

Además, en la ciencia, es necesario reconocer y evaluar distintas interpretaciones y explicaciones de un mismo fenómeno, lo que implica analizar la solidez de la evidencia disponible y sostener, en la comunidad científica, debates fundamentados. Este ejercicio crítico se entrelaza con la comunicación, pues la producción del conocimiento ocurre en un contexto de intercambio argumentativo, donde los científicos deben exponer, defender o cuestionar ideas con claridad y precisión. A su vez, la colaboración resulta esencial, ya que la construcción del conocimiento científico es un esfuerzo colectivo que requiere compartir hallazgos, discutir interpretaciones y consensuar explicaciones.

Para dar fuerza a lo anterior, García-Carmona (2023) y Hyytinen et al. (2019), señalan que el pensamiento crítico implica la gestión del conocimiento y habilidades científicas, lo que exige una comprensión de los aspectos que subyacen en la NOS y permite a los estudiantes forjar una base personal sobre la cual posicionarse. A partir de estas reflexiones, emerge el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración, en tanto la ciencia es una práctica discursiva que se desarrolla en un entorno dialógico. Estas habilidades se manifiestan en la construcción, validación y mejora del conocimiento a través del debate, la argumentación y el trabajo conjunto. Es claro aquí como se articulan las reflexiones sobre la NOS y las habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.

En síntesis, estos aspectos epistémico-cognitivos y socio-institucionales que subyacen en la NOS permiten evidenciar las dinámicas complejas en la producción científica, donde la ciencia se configura como una práctica discursiva. En este sentido, la certeza no es un producto individual, sino el resultado del establecimiento de consensos a través del trabajo colaborativo. Para ello, es fundamental la disposición a convencer y ser convencido, lo que requiere procesos argumentativos sólidos (pensamiento crítico) y el uso de la comunicación como medio para el diálogo y la construcción compartida del conocimiento. En otras palabras, las reflexiones sobre estos aspectos de la NOS hacen emerger habilidades científicas que se alinean con las denominadas habilidades del siglo XXI, como el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración.

Según lo anterior, es apropiado decir que las reflexiones acerca de la NOS generan el contexto propicio para hacer emerger las habilidades del siglo XXI (Kostøl, 2023), en particular, porque consideramos que el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración, son habilidades afines a la actividad científica. Así mismo, las reflexiones acerca de la NOS implican pensar en escenarios que promuevan la exposición de ideas, brindando oportunidades para revisar o reemplazar los marcos conceptuales y explicativos existentes, como las concepciones previas que los estudiantes tienen sobre la ciencia, su desarrollo y sus métodos (Turgut, 2011).

En el marco de estas reflexiones, a continuación, se presenta un análisis de los debates entre Einstein y Born como un caso que ilustra cómo la discusión sobre ciertos fundamentos de las explicaciones en mecánica cuántica permite el desarrollo de habilidades científicas, las cuales, a su vez, se relacionan con las habilidades relevantes en el siglo XXI.

2.3 Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en los fundamentos de la perspectiva de Einstein. Un caso para ilustrar el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI

En este apartado se realiza un análisis histórico-epistemológico de la perspectiva de Einstein frente a la mecánica cuántica, centrándose en sus correspondencias con Michele Besso y Max Born. Para ello, se presentan algunos fragmentos extraídos de estas cartas, los cuales revelan tanto aspectos cognitivo-epistémicos como socio-institucionales de la actividad científica. Desde lo cognitivo-epistémico, se evidencia el papel de la observación y la inferencia en la construcción teórica de Einstein, así como su insistencia en la necesidad de una descripción determinista de los fenómenos físicos. Por otro lado, desde lo socio-institucional, se reconoce cómo la mecánica cuántica emergió en un contexto de cambios dentro de la comunidad científica, en el que se debatía el papel de la probabilidad en la formulación de teorías. En este sentido, la correspondencia con Born no solo evidencia un contraste entre perspectivas teóricas, sino también las dinámicas de validación y aceptación del conocimiento dentro de la física, donde las diferencias en la concepción de la ciencia influyeron en la manera en que cada uno defendía sus posiciones. Además, estas cartas reflejan cómo las concepciones filosóficas de ambos físicos influyeron en su forma de interpretar la naturaleza de las teorías científicas y su grado de certeza.

2.3.1 Un debate de Einstein y Born sobre aspectos epistemológicos de su perspectiva de la realidad y de la física cuántica: Un escenario en el que se evidencian habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI

Para Einstein (1936), las ciencias físicas buscan organizar la diversidad caótica de la experiencia sensorial mediante un sistema de pensamiento que establece relaciones entre las impresiones de los sentidos y la interpretación teórica de estas. La física no se limita a recopilar observaciones, sino que construye conceptos que permiten estructurar y comprender la realidad. Aunque esta construcción implica cierto grado de arbitrariedad, debe mantener una correspondencia con la experiencia sensorial, dado que la existencia de un “mundo externo real” se sustenta en la interpretación de estas impresiones.

En esta perspectiva, la realidad se configura a partir de la estructuración de conceptos como el tiempo, el espacio y la masa, los cuales no son simples acumulaciones de datos sensoriales, sino creaciones que organizan y dotan de sentido a la experiencia. La validez de estos conceptos no radica en su origen, sino en su capacidad para articular las regularidades observables en el mundo.

Así, para Einstein, un objeto adquiere “existencia real” cuando su significado trasciende las impresiones sensoriales inmediatas y se inscribe dentro de un sistema conceptual coherente. No obstante, este sistema no puede desligarse de la experiencia: el conocimiento científico se desarrolla en un proceso dinámico donde las teorías emergen y se ajustan en función de su correspondencia con la experiencia.

Al respecto, Einstein (1936) plantea:

En mi opinión, nada se puede decir a priori sobre la manera en que los conceptos se van a formar y conectar, y cómo vamos a coordinarlos para sentir las experiencias. Al guiarnos en la creación de tal orden de experiencias sensoriales, el éxito por sí solo es el factor determinante. Todo lo que es necesario es fijar un conjunto de reglas, ya que sin tales reglas la adquisición del conocimiento en el sentido deseado sería imposible. Se pueden comparar estas reglas con las reglas de un juego en el que, mientras que las reglas mismas son arbitrarias, es sólo su rigidez lo que hace posible el juego. Sin embargo, la fijación nunca será definitiva. Tendrá validez sólo para un

campo especial de aplicación (es decir, no hay categorías finales en el sentido de Kant). (p.296)

Aquí se resalta un aspecto central en el pensamiento de Einstein: la necesidad de establecer un conjunto de reglas que conecten las experiencias sensoriales con la construcción de conceptos. No se trata de un sistema lógico autónomo y desvinculado de la realidad empírica, sino de una estructura conceptual que se fundamenta en nociones primarias directamente vinculadas con la experiencia. Según Einstein (1936), los “conceptos primarios” son aquellos que emergen de la interacción con conjuntos típicos de impresiones sensoriales, constituyendo el primer nivel de la organización del conocimiento.

A partir de estas nociones fundamentales, se edifica un sistema conceptual en el que las proposiciones pueden clasificarse en dos tipos: aquellas que son deducibles lógicamente a partir de las definiciones de los conceptos y aquellas que, sin derivarse de definiciones previas, establecen conexiones entre los conceptos primarios y la experiencia sensorial. Estos últimos, dentro del pensamiento einsteiniano, se identifican como enunciados sobre la realidad o leyes de la naturaleza, en tanto permiten describir y organizar los fenómenos de manera consistente. En este sentido, Einstein deja claro que la construcción del conocimiento científico no es arbitraria en su totalidad, pero tampoco se rige por categorías fijas e inmutables, dado que las reglas que estructuran el pensamiento pueden cambiar con el desarrollo de nuevas conceptualizaciones.

Mientras que para Einstein la construcción del conocimiento físico requiere una correspondencia entre los conceptos y la experiencia sensorial, Born enfatiza que la ciencia no debe entenderse como un reflejo directo de la realidad, sino como una estructura teórica cuyo valor radica en su coherencia interna y su capacidad predictiva. Para Born, la importancia no reside en la experiencia en sí misma, sino en la formulación de principios abstractos que permiten organizar y explicar los fenómenos.

Para Born, la ciencia no se limita a la realidad inmediata de la experiencia sensorial, sino que busca captar la estructura subyacente de los fenómenos a través de principios generales. Como señala: “No tomamos como criterio de esta realidad cualquier impresión sensorial o experiencia aislada, sino solo la conformidad con las leyes generales que detectamos en los fenómenos” (Born, 1969, p.16).

Aquí se evidencia que el conocimiento no emerge directamente de la experiencia, sino de la formulación de modelos teóricos que se organizan y dan sentido a los datos empíricos. La validez de una teoría no se mide por su estricta correspondencia con la percepción, sino por su capacidad para revelar regularidades y construir explicaciones sistemáticas.

En esta línea, Born (1969) enfatiza que la ciencia requiere conceptos que van más allá de la intuición cotidiana. Como menciona:

Las leyes que Galileo y Newton derivaron de sus observaciones no pueden enunciarse sin ideas que se encuentran muy fuera de los límites naturales del pensamiento. [...]

En mecánica, estas palabras adquirieron un nuevo significado preciso; son palabras artificiales, tal vez las primeras en ser acuñadas. (p. 16)

Esta transformación refleja su postura de que el conocimiento científico no es una simple acumulación de observaciones, sino la construcción de un esquema conceptual que permite interpretar fenómenos que, sin una base teórica, serían incomprensibles. De esta manera, Born sitúa en el centro del desarrollo científico la formulación de ideas abstractas que, si bien deben estar conectadas con la experiencia, no depende de ella de manera inmediata.

De esta manera, mientras Einstein enfatiza que la construcción de conceptos físicos debe mantener un vínculo con la experiencia sensorial mediante proposiciones que conectan con la realidad, Born adopta una perspectiva en la que la validez de un concepto no depende de su relación directa con la percepción, sino de su capacidad para describir regularidades en los fenómenos. Born destaca que muchos de los conceptos fundamentales de la física no surgen naturalmente del pensamiento cotidiano, sino que requieren una abstracción que trasciende la intuición inmediata. Esto contrasta con la postura de Einstein, quien sostiene que el edificio conceptual de la estructura física debe estar a partir de nociones primarias ancladas en la experiencia. Así, mientras Einstein busca preservar un vínculo más sólido entre teoría y realidad, Born acepta que las teorías pueden operar en un nivel más abstracto, siempre que sean coherentes y permitan describir con éxito el mundo físico.

Esta diferencia en la forma de entender la relación entre teoría y experiencia marca un punto clave en la manera en que Born y Einstein se posicionan frente a la mecánica

cuántica. Para Born, su validez radica en que permite describir regularidades en los fenómenos, aunque sus conceptos sean abstractos y alejados de la intuición cotidiana. En cambio, Einstein muestra reservas porque considera que la teoría cuántica no mantiene un vínculo claro con las nociones primarias derivadas de la experiencia sensorial. Esta preocupación se refleja en su correspondencia con Besso, donde expone algunas de sus inquietudes sobre la mecánica cuántica.

Para ilustrarlo, se presentan fragmentos clave que permiten comprender su posición frente a esta teoría en el contexto de sus discusiones con su amigo (Besso). Por ejemplo, Einstein (1924)¹ en una carta le dice:

En el plano científico, estoy sumergido casi sin interrupción en el problema de los cuantos y creo verdaderamente estar sobre la buena pista, si ése es el caso. Lo mejor que he conseguido en este dominio en el pasado es el trabajo aparecido en 1912 en el *Physikal Zeitschrift*. Mis nuevos esfuerzos tratan de conciliar los cuantos y el campo de Maxwell. (p. 218)

El aspecto relevante que aquí se destaca es el por qué Einstein tenía reservas sobre la descripción de la mecánica cuántica. Para él, el concepto de campo no era solo una herramienta matemática, sino una realidad física ligada al continuo cuatridimensional del espacio-tiempo. En su visión, las interacciones físicas debían explicarse a través de campos que variaban de manera continua y cuya evolución respondía a principios bien definidos. En contraste, la mecánica cuántica introdujo la noción de una naturaleza discreta de la materia y la energía, donde los procesos físicos ocurrían en saltos discontinuos. Esta discontinuidad resultaba inaceptable para Einstein, pues rompía con la idea de una descripción física basada en estructuras continuas.

Desde una perspectiva determinista, Einstein dedicó gran parte de su trabajo científico a la búsqueda de una teoría de campos que, sin abandonar los principios cuánticos,

¹ Según las normas APA 7, cuando se cita un documento original que se encuentra dentro de una fuente secundaria (como una carta dentro de un libro de correspondencia), en la cita en el texto se debe usar la fecha original del documento citado (en este caso, la carta de Einstein de 1924), mientras que en la referencia bibliográfica se debe incluir el año de publicación de la fuente consultada (el libro de correspondencia entre Besso y Einstein, 1994). Esto permite reconocer la autoría y fecha original del material citado, a la vez que se da crédito a la fuente donde realmente se consultó el contenido (APA, 2020). Tenga en cuenta que, en adelante, todas las citas de este tipo aparecerán siguiendo esta convención, por lo que se recomienda que se remita siempre a la correspondencia entre Einstein y Besso como fuente consultada.

pudiera formularse dentro de un esquema causal. No rechazaba la existencia de efectos cuánticos, pero consideró que debía haber una estructura subyacente que garantizara una conexión precisa entre causa y efecto. Su objetivo era encontrar una formulación en la que los eventos físicos no ocurrieran al azar, sino que siguieran un orden regido por condiciones iniciales bien definidas.

A pesar de estas dificultades, Einstein (1929), citado en Forman (1984), confiaba en que este camino permitiría sentar las bases de una física futura sustentada en la causalidad. En sus propias palabras: “A pesar de que creo firmemente que no permaneceremos estancados en una subcausalidad, sino que más bien, a la postre, llegaremos incluso a una supercausalidad en el sentido indicado” (p.135).

Por otro lado, Einstein (1951) le escribe a Besso: “Una teoría verdaderamente racional debería permitir deducir las partículas elementales (electrón, etc.) y no estar obligada a postularlas a priori” (p. 417). Con esto, señala que la existencia de las partículas elementales no debería asumirse sin una fundamentación teórica más profunda. Para Einstein, la mecánica cuántica introducía estas entidades sin derivarlas de principios generales, lo que iba en contra de su ideal de una teoría racional y unificada. Su crítica no radicaba en rechazar la experiencia empírica, sino en que la teoría debía hacer más que ajustar ecuaciones a los datos experimentales; debía ofrecer una estructura conceptual que explicara de manera fundamental la existencia y propiedades de las partículas. Así, su desacuerdo con la mecánica cuántica no solo era metodológico, sino ontológico: una teoría verdaderamente satisfactoria debía deducir las partículas como consecuencia de una descripción más general de la naturaleza, en lugar de simplemente asumirlas como elementos independientes.

Una última cuestión, y quizás la más importante para comprender el rechazo de Einstein a la mecánica cuántica en tanto teoría definitiva, radica en su consideración de la descripción estadística como una renuncia a la comprensibilidad total y profunda de la naturaleza. Frente a esto Einstein (1925) le escribe a Besso: “Continúo firmemente convencido del hecho de que querer meter en el molde probabilístico las leyes de la naturaleza es, desde un punto de vista profundo, seguir un camino equivocado, a despecho de todos los éxitos prácticos del método estadístico” (p.311).

Tiempo después le escribe a Besso y le da una razón fuerte que expresa su contrariedad frente a la teoría cuántica. De manera contundente Einstein (1927) escribe:

Mi animosidad contra la teoría estadística de los cuantos no se refiere al contenido cuantitativo, sino a la creencia actual de que esta manera de tratar los fundamentos de la física es, en lo esencial, definitiva. Me alegra que hayas leído mi trabajito. ¿Has notado también cuán ilógica era la respuesta de Pauli? Pone en duda que esta manera de proceder sea incompleta, pero dice inmediatamente después que la función ψ es una representación estadística de la totalidad del sistema. Sin embargo, esto no es sino otra forma de la afirmación: ¡La representación del sistema particular (individual) es incompleta! El éxito momentáneo posee para casi todo el mundo más fuerza de persuasión que una reflexión de principio, y la moda los hace ciegos, aunque solo sea temporalmente. (p.362)

Además, a Einstein le molestó fuertemente que la comunidad de científicos aceptara la acausalidad y el indeterminismo cuántico como una característica inherente a la explicación más adecuada para los fenómenos de la naturaleza, dicha postura conllevó a admitir que no hay un “antiguo secreto” (como más tarde se verá en la correspondencia con Born), lo cual lo interpretó como un intento mediocre y conformista de los científicos para explicar los fenómenos cuánticos.

Es preciso ahora analizar la correspondencia con Born, donde se evidencia un matiz diferente. Aquí, a pesar de sus diferencias, ambos científicos intercambian críticas directas de manera cordial y argumentan con el fin de convencer al otro. Para iniciar se trae a colación una de las citas más famosas de Einstein (1926)² frente a la mecánica cuántica, esta proviene de una carta que le escribe a Born, en la cual le expresa:

La mecánica cuántica es algo muy serio. Pero una voz interior me dice que de todos modos no es ése el camino. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca gran cosa al antiguo secreto. En todo caso estoy convencido de que Él no juega a los dados. (p.119)

² Tenga en cuenta que, en adelante, todas las citas de Einstein o Born hacen parte de la correspondencia entre Einstein y Born como fuente consultada.

Esta declaración no solo refleja el escepticismo de Einstein frente a la mecánica cuántica, sino que también evidencia su concepción del mundo en la que la física tiene la tarea de revelar un orden profundo en la naturaleza. Para él, una teoría verdaderamente satisfactoria debía ofrecer una descripción completa y determinista de los fenómenos, en la que las leyes fundamentales permitieran deducir con certeza el comportamiento de los sistemas físicos. La mecánica cuántica, al introducir la probabilidad como un rasgo esencial y no como una limitación del conocimiento, rompía con esta visión, lo que explica su insistencia en que la teoría no podía ser la respuesta última a los enigmas del universo.

Hasta aquí se ha tratado la perspectiva de Einstein frente a la mecánica cuántica y su rechazo en considerarla como una base de la física para configurar una representación de la realidad. Para tratar este tópico de manera más contundente, se trae a consideración un fragmento que Einstein (1948) le anexa en su carta a Max Born. En este le comenta un conjunto de consideraciones que son interesantes para comprender con profundidad este tópico de análisis. En la consideración II, respecto a la mecánica cuántica Einstein escribe:

Si se pregunta qué es lo que caracteriza, independientemente de la mecánica cuántica, el mundo de ideas de la física, lo primero que sorprende es lo siguiente: los conceptos de la física se refieren a un mundo exterior real, es decir, se establecen ideas relativas a cosas (cuerpos, campos, etc.) a las que se atribuye una “existencia real” independientemente del sujeto que las percibe, ideas que, por otra parte, han sido puestas en relación lo más segura posible con los datos que proporciona los sentidos. Caracteriza además a estos objetos físicos el ser pensado como dispuestos en un continuo espacio-tiempo. Un aspecto esencial de esta ordenación de las cosas en la física es que en determinado momento esas cosas pueden pretender una existencia independiente unas de otras, con tal que <<estén situadas en diferentes partes del espacio>>. Sin aceptar esta independencia de existencia de los objetos (este ser así) apartados unos de otros en el espacio- que en primer lugar procede del pensamiento cotidiano- no sería posible el pensamiento físico en el sentido usual. (p.215)

En el fragmento anterior se reúnen todos los aspectos tratados en el presente texto, Einstein expone su perspectiva filosófica frente a la configuración de la realidad y lo relaciona con la idea de adherirse a una teoría de campo. Un programa físico que configura

un continuum de cuatro dimensiones, a cuya idea se aferra el científico, dado que su teoría de la gravitación le permitió ver que la no linealidad de ecuaciones da como resultado la interacción entre estructuras, requisitos que le impiden abandonar este programa científico y lo inspiran a creer firmemente en él.

A lo anterior Einstein (1948) añade:

[...] cuando considero los fenómenos físicos conocidos por mí y en especial aquellos que la mecánica cuántica abarca tan venturosamente, en ninguna parte hallo un solo hecho que me indique la probabilidad de tener que renunciar a la condición II. Por eso me siento inclinado a creer que en el sentido de la descripción de la mecánica cuántica debe considerarse una descripción incompleta e indirecta de la realidad y que algún día habrá de reemplazarse por otra más completa y directa. (p.218)

Hasta aquí el análisis de Einstein sobre la mecánica cuántica no solo es una crítica a sus fundamentos físicos, sino también una reflexión sobre los supuestos epistemológicos que subyacen a cualquier teoría científica. Para él, la física debía ofrecer una representación de la realidad que se derivara de principios racionales y estuviera vinculada a una estructura teórica continua, evitando la introducción de entidades postuladas sin conexión experimental clara. Su insistencia en una formulación determinista de la naturaleza no respondía únicamente a una preferencia filosófica, sino a la convicción de que la ciencia tiene la tarea de descubrir estructuras subyacentes que explican el mundo, en lugar de conformarse con formalismos matemáticos que, aunque funcionales, no proporcionan una comprensión más profunda de los fenómenos.

Desde una mirada socioepistemológica, esta postura de Einstein también revela una tensión en la forma en que la comunidad científica acepta nuevos marcos teóricos. Su resistencia a la interpretación cuántica no solo era un desacuerdo técnico, sino una preocupación más amplia sobre cómo se concibe la labor científica: ¿debe la física limitarse a construir modelos eficaces para describir observaciones, o debe aspirar a descubrir la esencia misma de la realidad? Al debatir estas cuestiones, Einstein no solo expresaba una posición epistemológica propia, sino que también advertía sobre el peligro de aceptar sin cuestionamiento un marco explicativo.

Ante estas posiciones de Einstein, Max Born (1953) escribe:

Veía en la mecánica cuántica una útil fase intermedia entre la física clásica tradicional y una “física del futuro” todavía completamente desconocida basada en la relatividad general y donde volvían por sus fueros los conceptos tradicionales de realidad física y determinismo, y esto lo consideraba él impensable por razones filosóficas. Por eso le parecía la mecánica cuántica no errónea sino “incompleta”. Sus razones eran en lo esencial de índole filosófica y por eso difíciles de conmovir, y menos con argumentos puramente físicos. De todos modos, yo traté de contestarle, y así nació una fuerte polémica, siempre amistosa empero, que se manifiesta en las siguientes cartas. (p.254)

El conflicto entre Einstein y Born puede entenderse no solo como un debate epistemológico sobre los fundamentos de la mecánica cuántica, sino también como una disputa socio-institucional sobre qué criterios legitiman una teoría científica. Born señala que las razones de Einstein eran filosóficas y, por tanto, difíciles de refutar con argumentos puramente físicos, lo que indica que las explicaciones científicas no dependen únicamente de la evidencia empírica, sino también de valores, tradiciones y marcos conceptuales arraigados en la comunidad científica. Así, más que un desacuerdo sobre datos o ecuaciones, el debate refleja una tensión entre visiones opuestas sobre el papel de la física: para Einstein, debía revelar una realidad objetiva e independiente del observador, mientras que, para Born, su éxito predictivo dentro del marco probabilístico era suficiente para validarla. Esto señala que en las explicaciones científicas hay otros actores no propiamente de la ciencia que intervienen. Para profundizar en este tema, consideremos lo que Born (1944) le escribe a Einstein:

Pero después de estar de acuerdo contigo en este punto, ahora tengo que pasar a nuestro desacuerdo en física. Porque no puedo separar los dos y no puedo entender cómo puedes combinar un universo completamente mecanicista con la libertad del individuo ético. Hedi, que no sabe nada de física, lo ha formulado de todos modos excelentemente en la carta que te adjunto. Para mí, un mundo determinista es bastante aborrecible; es un sentimiento primario. Tal vez tengas razón y sea como dices. Pero en este momento no parece realmente así en física -y aún menos en el resto del mundo. También encuentro tu expresión, el “Dios que juega a los dados”, completamente

inadecuada. También tienes que tirar los dados en tu mundo determinista; ésa no es la diferencia. Sabe cuál es realmente esa diferencia, tan bien como yo, y si no tienes todos los argumentos en este momento, dale una señal a Pauli y él los sacará a relucir. Creo, en primer lugar, que usted subestima los fundamentos empíricos de la teoría cuántica (doy menos importancia a la masa de “pruebas” que, a ejemplos aislados y flagrantes, como la paradoja de Gibbs o el experimento de Stern-Gerlach); y, en segundo lugar, que su filosofía de alguna manera logra armonizar los autómatas de los objetos sin vida con la existencia de la responsabilidad y la conciencia, algo que yo soy incapaz de lograr. (p. 197)

El cuestionamiento de Born a Einstein no solo resalta una diferencia en la interpretación de la mecánica cuántica, sino que también pone en evidencia las implicaciones filosóficas y socio-institucionales que subyacen en sus posturas. Born no solo desacuerda con la visión determinista de Einstein desde un punto de vista físico, sino que también la considera incompatible con la noción de libertad y responsabilidad moral, lo que indica que las concepciones científicas no están aisladas de otras esferas del pensamiento humano. Su referencia a Hedi y a Pauli muestra que la construcción del conocimiento en la ciencia no es un acto solitario, sino que se enmarca en un entramado social donde la validación de ideas ocurre dentro de una comunidad que comparte ciertos valores y normas. Así, más allá de los argumentos físicos, la disputa entre Born y Einstein ilustra cómo las creencias personales, los contextos institucionales y las relaciones entre científicos influyen en la evolución de las teorías.

Por otro lado, Born (1944) también le escribe a Einstein:

En cuanto a mi ensayo contra Eddington y Milne, lo escribí de acuerdo con el estilo británico de cortesía. Yo mismo lo habría calificado de “basura”. Pero algo así tenía que escribirse, ya que en este país se considera a Eddington como una especie de profeta. Sin embargo, creo que usted tiene derecho a especular, pero que otras personas no lo tienen, incluido yo. ¿Pequé yo de esa manera en el pasado (o más bien, como usted dice, fui una puta)? Siempre he apreciado su buena física judía y la he disfrutado mucho; pero yo mismo lo he hecho sólo en una ocasión, en el caso de la electrodinámica no lineal, y no fue precisamente un éxito. En mi opinión honesta,

cuando la gente común y corriente trata de comprender las leyes de la naturaleza sólo con el pensamiento, el resultado es pura basura. Schrödinger puede ser capaz de hacerlo. Me gustaría saber qué piensa usted de su teoría de campos afines. Me parece hermosa e ingeniosa, pero ¿es verdad? Ahora ha publicado sus conferencias sobre termodinámica estadística (autografiadas); las encuentro mejores y más sustanciales. (p.197-198)

Este fragmento de Born evidencia cómo dentro de la comunidad científica existen figuras que adquirieron un estatus casi intocable, como Eddington en el contexto británico, lo que sugiere que la legitimidad de las ideas no siempre se basa en su solidez teórica o empírica, sino en dinámicas de reconocimiento y autoridad. Su comentario sobre el derecho a especular refleja una crítica irónica a la forma en que ciertos científicos (Como Einstein) pueden permitirse desarrollar teorías altamente especulativas sin recibir el mismo escrutinio que otros, evidenciando jerarquías dentro del campo.

Al mismo tiempo, su alusión a la física “judía” y a la manera en que algunos enfoques son recibidos o descartados pone de manifiesto que las disputas científicas no ocurren en un vacío neutral, sino que están atravesadas por factores culturales y sociales. En este sentido, la referencia de Einstein a Born como una “puta” no solo ilustra la confianza y la franqueza con la que ambos discutían, sino que también sugiere la existencia de tensiones en la investigación científica. Así, más allá de la validez de las teorías, Born muestra que la aceptación de ciertas ideas depende de quién las propone y del contexto en el que emergen, evidenciando el papel de estructuras institucionales en la configuración del conocimiento científico.

En lo presentado, surge la posibilidad de identificar aspectos de la ciencia surgidos de la reflexión de la NOS, tanto epistémicos-cognitivos como socio-institucionales, relacionados con lo mencionado en los apartados anteriores: se logra ver a modo de síntesis, que la ciencia no solamente se basa en la observación del mundo natural (base empírica), sino que implica invención de explicaciones y generación de ideas que implican imaginación y creatividad.

Cuando se habló de la realidad y el papel de la experiencia para la construcción del conocimiento científico, desde Einstein y Born se pueden interpretar aspectos referidos a la

observación, inferencia, leyes, teorías, experimentación, así como aspectos relacionados con la personalidad del científico, los criterios morales, la comunicación y las concepciones de mundo. Estas dimensiones no operan de manera aislada, sino que se entrelazan en el modo en que las ideas científicas son defendidas, cuestionadas y legitimadas dentro de la comunidad. Más allá de los argumentos físicos, las interacciones entre Einstein y Born muestran cómo las disputas científicas pueden estar atravesadas por tensiones personales y estructuras de autoridad intelectual, así mismo dichas discusiones también sugieren que las jerarquías y expectativas dentro del ámbito científico también influyen en la manera en que se valoran las contribuciones de cada investigador.

Consecuente con lo anterior, no se trata solo de un debate teórico, sino de dinámicas de legitimación en las que ciertos enfoques son considerados más respetables que otros, dependiendo de quién la fórmula y en qué contexto. En este sentido, la ciencia no solo es un sistema de conocimientos, sino también un espacio de negociación donde los valores individuales y sociales, las redes de influencia y los códigos de honor determinan qué ideas logran consolidarse y cuáles son desestimadas.

También, en este contexto de significación, puede verse en acción la condición humana en la construcción del conocimiento científico; igualmente, se evidencia como se dan las relaciones dialógicas y los procesos discursivos entre científicos, en este caso entre Einstein y Born para comunicar sus ideas. En esta práctica científica, además, se evidencian las motivaciones personales, los valores e ideologías de los científicos, interacciones sociales, decisiones científicas, entre otras.

En última instancia, el intercambio entre Einstein y Born revela que la ciencia no es un proceso puramente lógico o técnico, sino un entramado complejo donde convergen el pensamiento individual, la validación colectiva y las estructuras de poder dentro de la comunidad científica. La forma en que se articulan y debaten las ideas pone de manifiesto que el conocimiento no se construye en el vacío, sino en medio de relaciones humanas que implican acuerdos, disensos y confrontaciones. Así, la evolución de la ciencia no solo depende de la solidez de las teorías, sino también de las estrategias discursivas, la reputación de los investigadores y las tradiciones epistémicas que dominan un momento histórico determinado.

Es justamente en este contexto de reflexión que emergen habilidades fundamentales del siglo XXI, como la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico, que no solo permiten la construcción y validación del conocimiento, sino que también configuran la manera en que los científicos interactúan y transforman su campo de estudio.

A modo de ejemplo, puede notarse en la correspondencia de Einstein con los científicos mencionados una disposición colaborativa en el sentido de la búsqueda de una comprensión profunda de la naturaleza (como objetivo común), además, se prestan para establecer una comunicación abierta y un diálogo científico a pesar de sus diferencias fundamentales, pone en perspectiva una de las características del trabajo colaborativo que es la divergencia de perspectivas y las tensiones que se pueden dar entre los miembros.

En ese sentido, propiciar debates sobre estos aspectos, será la estrategia que se privilegie en esta investigación con el propósito de hacer emerger habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI. Además, con base en este análisis histórico-epistemológico, se construyen los instrumentos de investigación para responder a los objetivos de investigación.

Capítulo 3. Metodología

En este capítulo se exponen el diseño metodológico de la investigación y los pasos seguidos para su desarrollo. La investigación se enmarcó en un paradigma cualitativo con un enfoque histórico-hermenéutico y un método fenomenológico. Aquí, se describen, el contexto en el que tuvo lugar el estudio, así como los criterios de selección de los informantes y las características del grupo participante. Posteriormente, se detallan las técnicas empleadas para la recolección de información entre ellas, los grupos de discusión y los talleres investigativos y el procedimiento seguido para su implementación. La información fue registrada mediante dispositivos de audio y video, y su sistematización se realizó con base en una matriz de categorías que permitió la selección de las unidades de análisis. Finalmente, se abordan los criterios de credibilidad, así como los aspectos éticos de la investigación, entre ellos el protocolo ético y consentimiento informado.

3.1 Paradigma, enfoque y método

El propósito de esta investigación fue la de analizar cómo los aspectos histórico-epistemológicos de la perspectiva de Einstein en sus debates con Born sobre la mecánica cuántica contribuyen a evidenciar habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI. En particular, se buscó documentar en las discusiones de grupo aspectos relacionados con la colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico, mediante el análisis del significado y el contexto de la información, la formulación de inferencias y la toma de decisiones sobre la validez de las ideas discutidas. Para ello, se propiciaron escenarios dialógicos y discursivos que favorecieron el debate y la construcción de consensos. Estas prácticas dialógicas se desarrollaron en el marco de una reflexión sobre los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la NOS, a partir del caso analizado.

En este estudio se adoptó un paradigma cualitativo, dado que se buscaba comprender cómo se manifestaban ciertas habilidades cuando los participantes debatían sobre las cartas y textos de Einstein y Born. Este paradigma permitió abordar el fenómeno desde una mirada holística, considerando la experiencia de los sujetos y la construcción de significados durante el proceso de discusión. Por esta razón, el proceso investigativo fue dinámico y abierto, ya que en su construcción se incorporaron los aportes de los participantes, lo que permitió reconocer estructuras argumentativas, explorar relaciones entre ideas y profundizar en la

comprensión de los significados que surgieron en el diálogo y la reflexión (Fassio, 2018; Vasilachis, 2006).

En esta investigación se analizaron los debates entre Einstein y Born, atendiendo a las dinámicas de construcción del conocimiento científico. Asimismo, se exploraron los significados que emergen en estos intercambios y su potencial para favorecer el desarrollo de habilidades científicas. Este proceso implicó no solo la reconstrucción de los argumentos en su contexto original, sino también su interpretación y resignificación por parte de los participantes, quienes, mediante la discusión y el análisis, se involucraron en prácticas discursivas similares a las que se desarrollan en la comunidad científica. Por estas razones, el proceso investigativo se enmarcó en los lineamientos teóricos del enfoque histórico-hermenéutico.

En consonancia con el paradigma cualitativo y el enfoque histórico-hermenéutico de esta investigación, se adoptó la fenomenología como método, dado que permitió explorar cómo los participantes experimentaron, interpretaron y resignificaron los debates entre Einstein y Born en el contexto de su formación científica. La fenomenología, entendida como el estudio de la experiencia vivida y de la manera en que los fenómenos se revelan a la conciencia (Van Manen, 2017), resultó relevante para analizar cómo los participantes construyeron significados en torno a los modos de argumentación, la legitimación de explicaciones científicas y el desarrollo de habilidades como la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico. Desde esta perspectiva, la investigación no pretendió realizar comparaciones entre los datos obtenidos, sino comprender la estructura de la experiencia de los participantes en relación con los debates científicos abordados (Pickard, 2013). Este método operó con una doble hermenéutica, ya que el investigador buscó interpretar las experiencias de los participantes mientras estos, a su vez, intentaban dar sentido a los procesos de discusión en los que se involucraron (Smith, 2017; Ghiso, 1996).

3.2 Contexto de la investigación

La implementación de esta investigación se llevó a cabo con estudiantes de la Licenciatura en Física de la Universidad de Antioquia, en el marco del curso de Práctica Pedagógica durante el semestre 2025-1. Este curso hace parte del componente de práctica profesional que desarrollan los estudiantes en los últimos tres semestres de los programas de

Licenciatura de la Facultad de Educación, y que articula la experiencia docente en centros de práctica con procesos investigativos en torno a la enseñanza de las ciencias naturales. En las intervenciones, el investigador no asumió el rol de profesor, sino que participó exclusivamente en calidad de observador e implementador de la propuesta. Para ello, la docente destinó algunos espacios del curso, lo cual permitió que los participantes comprendieran la dinámica de una investigación aplicada en el campo de la formación profesoral, sin interferir con los objetivos propios del curso. Este contexto favoreció la interacción con estudiantes próximos a finalizar su formación profesional, quienes contaban con una base sólida en física y experiencia inicial en prácticas de enseñanza.

3.3 Informantes y criterios de selección

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron cinco informantes, tres hombres y dos mujeres, con edades entre 20 y 25 años, todos estudiantes de los últimos semestres de la Licenciatura en Física. La selección de los participantes respondió a criterios que buscaban garantizar la disposición y compromiso para involucrarse en las discusiones propuestas, asegurando así la profundidad y diversidad del análisis. Consecuente con esto, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: i) Disponibilidad para participar activamente en las actividades propuestas en el aula, dado que la implementación requería asistencia regular y un compromiso efectivo con las dinámicas de la implementación de la investigación. ii) Disposición para el trabajo en grupo y la colaboración en la construcción de conocimiento, ya que las actividades diseñadas se centraron en el intercambio de ideas y la argumentación colectiva. iii) Capacidad para involucrarse en procesos de confrontación de ideas de manera respetuosa y argumentada, fundamental para garantizar un ambiente de discusión productivo y enmarcado en los principios del diálogo académico. iv) Interés en participar voluntaria y activamente en la investigación, asegurando su compromiso a lo largo del proceso, lo cual era necesario para dar continuidad a las actividades propuestas y asegurar la coherencia del seguimiento investigativo. v) Afinidad con temáticas relacionadas con la epistemología y la historia de la ciencia, dado que el contenido central de la investigación giraba en torno a debates históricos y filosóficos sobre la ciencia, lo que exigía una motivación previa por estas áreas.

3.4 Recolección de la información

Para la recolección de la información se realizaron tres sesiones, cada una con una duración aproximada de entre dos y tres horas. En estas sesiones se implementaron técnicas relacionadas con los grupos de discusión (GD) y los talleres investigativos (TI), diseñadas a partir del análisis histórico-epistemológico de las discusiones entre Einstein y Born sobre la mecánica cuántica. Para ello, se construyeron cuatro instrumentos que estructuraron las actividades de lectura, análisis, debate y reflexión llevadas a cabo durante el proceso. Dichos instrumentos se presentan en detalle en el Anexo 1, y constituyen el eje metodológico de la indagación al permitir una exploración profunda de las interpretaciones, argumentaciones y posicionamientos de los participantes frente a los contenidos trabajados.

En la primera sesión se aplicó el primer instrumento, titulado “*Reflexiones sobre la Construcción del Conocimiento Científico*”. La actividad inició con una breve contextualización de los fragmentos seleccionados, tras lo cual los participantes fueron organizados en dos grupos pequeños para una rueda de lectura: el Grupo 1 (G1), conformado por tres participantes hombres, y el Grupo 2 (G2), integrado por dos informantes mujeres.

Durante la actividad se leyeron dos textos. El primero fue un fragmento del ensayo *Física y realidad* (1936), de Albert Einstein, en el que se examina la relación entre los conceptos científicos y la experiencia sensorial, subrayando el vínculo entre lo abstracto y lo tangible. El segundo fue un fragmento de *Física en mi generación* (1969), de Max Born, donde se argumenta que los conceptos científicos surgen de los patrones reconocidos en los fenómenos.

Cada integrante del grupo leyó en voz alta secciones breves de los textos, mientras los demás subrayaban ideas clave y conceptos relevantes. Seguidamente, en cada grupo se discutieron las interpretaciones que ambos científicos proponían sobre la construcción del conocimiento científico, así como las posibles influencias personales y contextuales en sus posturas. En la fase final de la primera sesión, se conformó un grupo de discusión general (GD1), en el cual los participantes compartieron las ideas más significativas identificadas en los textos, destacando los aspectos centrales de cada perspectiva y las reflexiones generadas a lo largo del proceso de lectura y diálogo.

En la segunda sesión se aplicaron los instrumentos agrupados bajo el título “*Discusión de algunas cartas de Einstein y Born sobre diversos aspectos de sus actividades científicas: la realidad, lo social y la naturaleza del conocimiento*”. Estos instrumentos fueron diseñados a partir de dos cartas clave extraídas de la *Correspondencia entre Einstein y Born*, un intercambio epistolar que abarca el periodo de 1916 a 1955 y que ofrece una mirada profunda a sus debates científicos y filosóficos.

En la primera parte de la sesión, los participantes realizaron una lectura individual de una carta escrita por Einstein a Born. Durante esta lectura, identificaron las ideas principales del texto y respondieron una serie de preguntas orientadoras que guiaban la interpretación. A continuación, se conformaron pequeños grupos de discusión (G1 y G2) en los que contrastaron sus respuestas y discutieron las distintas interpretaciones posibles. Esta fase concluyó con una plenaria general (GD2), en la que se compartieron las conclusiones de cada grupo, abriendo paso a una discusión colectiva sobre los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia.

La segunda parte de la sesión estuvo dedicada al análisis de una carta de respuesta de Born a Einstein. Para esta actividad, los participantes retomaron la conformación de los dos grupos iniciales (G1 y G2) y, a partir de la lectura conjunta, construyeron una postura argumentada en el marco de una discusión estructurada (GD3), en la cual fundamentaron sus ideas sobre los elementos centrales de la carta. Finalmente, los participantes realizaron una clasificación jerárquica de algunos aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia, explicando y discutiendo los criterios que sustentaron dicha organización.

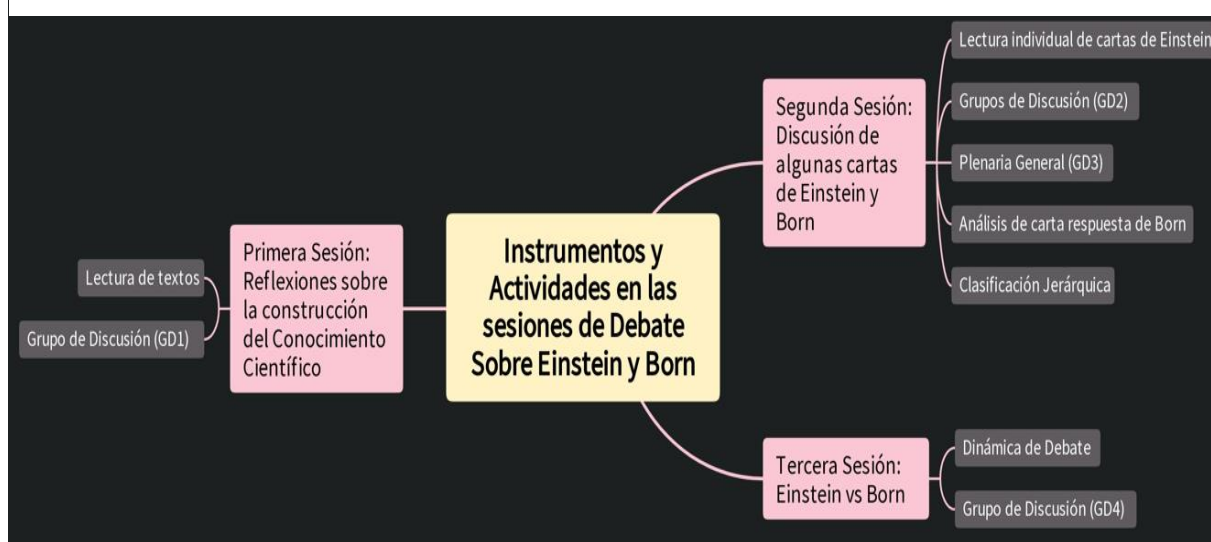
En la tercera sesión se implementó el instrumento titulado “*Einstein vs. Born: Debate sobre la realidad y la mecánica cuántica*”, el cual fue elaborado a partir de dos fragmentos clave. El primero corresponde al texto *Mecánica cuántica y realidad*, escrito por Einstein y enviado como anexo en una de sus cartas a Born. El segundo fragmento proviene de la respuesta que Born dio a dicho texto en una carta posterior.

A partir de estos insumos, se desarrolló una dinámica de debate en la que los participantes asumieron los roles de Einstein y Born, con el propósito de defender sus respectivas posturas frente a la noción de realidad física y la interpretación de la mecánica cuántica. Esta actividad propició la confrontación argumentada de ideas y el análisis crítico

de los fundamentos filosófico-científicos de cada perspectiva. La sesión finalizó con un grupo de discusión (GD4), en el que los participantes reflexionaron colectivamente sobre el posicionamiento asumido por cada grupo. En este espacio, se les solicitó tomar postura crítica frente a la visión de Einstein o la de Born, fundamentando sus elecciones con base en los argumentos debatidos durante la sesión. Lo anterior puede verse en la Figura 1.

Figura 1

Sesiones e Instrumentos Aplicados



Nota. Elaboración propia.

En síntesis, a partir de los textos descritos, se configuraron los instrumentos de investigación para analizar la interacción entre los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en la construcción del conocimiento.

Conviene reiterar que, estos instrumentos fueron diseñados con el propósito de hacer emerger habilidades del siglo XXI, como la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico. Además, fueron categorizados conforme al contexto y alineados con las categorías de análisis descritas en el Anexo 2, de modo que su estructura permitió un examen detallado de los discursos y reflexiones de los participantes en relación con los objetivos de la investigación.

La información recopilada se registró en formatos escritos, gráficos y orales. Las interacciones verbales fueron grabadas en audio y video, mientras que las producciones visuales se documentaron mediante fotografías y mediante los textos construidos por los

participantes en respuesta a cada uno de los instrumentos aplicados, como se evidencia en el Anexo 5. Posteriormente, las grabaciones fueron transcritas por el investigador con el fin de lograr una mayor inmersión y familiarización con los datos.

3.5 Sistematización y análisis de la información

Para orientar esta investigación, facilitar la sistematización y el análisis de los datos, se construyó una red de categorías apriorísticas basada en los planteamientos realizados en el marco teórico. Con este sistema de categorías se logró dotar de significados los datos obtenidos acorde con los propósitos de la investigación (Cisterna, 2005).

Esto implicó, además, precisar los indicios, descriptores o modos de ser o significar de cada una de las categorías (como se ve en la Tabla 1); es decir, definir, para cada categoría, las acciones concretas que los participantes de la investigación podrían manifestar. Esta definición permitió, posteriormente, en el proceso de sistematización, reconocer la información relevante y pertinente. En este sentido, la red de categorías construida en esta investigación respondió tanto al objetivo general como a los específicos, tal como se muestra en el Anexo 2 (Matriz de Coherencia Interna). En términos prácticos, esta estructura facilitó el diseño y la organización de los instrumentos de recolección de información, asegurando la coherencia entre los objetivos del estudio y el análisis de los datos obtenidos.

Para el análisis de los datos, fue necesario realizar una lectura constante de las transcripciones con el propósito de identificar unidades de análisis significativas que permitió una comprensión integral de la información. Siguiendo el enfoque histórico hermeneútico se consideró el texto de manera holística, es decir, como la interpretación de un todo y sus partes, lo que facilitó la categorización de los datos en tópicos (Piñuel, 2002).

El análisis de los datos en esta investigación se desarrolló a partir del proceso de cuatro etapas propuesto por Strauss y Corbin (1998). La primera etapa consistió en la exploración y delimitación de las áreas de interés a partir de las fuentes de información recolectada. En la segunda etapa, se llevó a cabo un análisis detallado de los datos, iniciando con un proceso de codificación abierta, donde se identificaron patrones de significado en los textos, estableciendo una lista de códigos, de los cuales se obtuvo una categorización inicial

Tabla 1*Red de Categorías e Indicios*

CATEGORIAS	INDICIOS
Aspectos cognitivo-epistémicos y socio institucionales de la ciencia	• Reconocen factores cognitivo- epistémicos y socio-institucionales, como influencias culturales, personales o filosóficas, que influyeron en las posturas de los científicos durante los debates. • Analizan cómo las creencias personales de Einstein y Born sobre la naturaleza de la realidad afectan en sus interpretaciones de la mecánica cuántica. • Reflexionan sobre cómo los valores y metas individuales, como el compromiso de Einstein con el realismo, condicionaron su rechazo a ciertos aspectos de la mecánica cuántica. • Reconocen que el debate entre Einstein y Born no fue solo científico, sino que también estuvo influenciado por preocupaciones filosóficas y éticas sobre el alcance del conocimiento científico.
Pensamiento crítico.	• Reconocen y discuten la influencia de factores históricos y contextuales en la formulación y aceptación de teorías en la mecánica cuántica, situando el debate en su contexto histórico y epistemológico. • Examina cómo la mecánica cuántica desafía los conceptos tradicionales de causalidad y determinismo, relacionando estos desafíos con las propuestas teóricas de Einstein y Born. • Comparan las perspectivas de Einstein y Born respecto a la naturaleza de la realidad en el contexto cuántico, identificando las tensiones entre realismo y probabilismo.
Colaboración.	• Reconocen la importancia de la colaboración en la interpretación de las posturas científicas, destacando cómo el trabajo en equipo les permite abordar problemas complejos desde múltiples perspectivas. • Analizan cómo el intercambio de ideas entre compañeros enriquece su comprensión de las teorías científicas, permitiéndoles identificar matices en las posturas de Einstein y Born. • Reconocen que la discusión en equipo fomenta la identificación de sesgos personales, lo que les ayuda a desarrollar interpretaciones más equilibradas y fundamentadas de las posturas científicas. • Reconocen que, a través de la colaboración, se estableció un diálogo intersubjetivo que valida las posturas de los demás, lo que les permite crear interpretaciones más ricas y completas de las teorías científicas.
Comunicación	• Discuten la relevancia de escuchar activamente a los demás, reconociendo que una buena comunicación implica no solo exponer sus propios argumentos, sino también entender las preocupaciones y evidencias presentadas por sus interlocutores. • Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico. • Consideran necesario la actividad colectiva para el desarrollo de nuevas ideas. • Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento. • Analizan cómo la retroalimentación de sus compañeros durante el debate les ayuda a ajustar y mejorar sus propios argumentos, promoviendo un aprendizaje colectivo en el proceso.

Para esto, de acuerdo con Gibbs (2012) se analizaron las transcripciones párrafo por párrafo identificando códigos que se etiquetaron por colores a partir de la información brindada por los participantes, tal como se evidencia en la Figura 2.

Figura 2

Codificación por Colores de las Transcripciones

86 E1: Cuando tratabas de construir lo que decía él es que tú lo decías que si era como
87 un axioma.

88 Ah, no, pues yo lo que decía ahí era que la construcción de una ley era casi que el
89 proceso inverso de un axioma. Es decir, un axioma uno lo pone al principio de todo y
90 sigue con él hasta el final. En cambio, la ley se construye con base en esas
91 experiencias sensoriales primarias que no se podían refutar. Es decir, se hace toda
92 una construcción lógica ligando estos conceptos primarios de forma directa e
93 indirecta hasta que se llega a la ley o a la teoría. Einstein también, decía que no había
94 una forma muy segura de decirlo, dado que esta dependía de la persona, si se llama
95 ley o teoría, pues depende de la construcción que se había hecho. Creo que... Ah, sí.
96 La cuestión de cuáles proposiciones debe considerarse como definiciones y como
97 leyes dependerá de la representación elegida.

Nota. Elaboración Propia.

En la etapa de codificación abierta se identificaron múltiples códigos los cuáles emergieron del análisis inductivo realizado a partir de los registros escritos, gráficos y orales recogidos durante las sesiones de trabajo con los participantes. La Tabla 2 presenta una selección de códigos representativos junto con una breve definición que orientó su interpretación durante el proceso analítico. La red completa de códigos, así como sus definiciones detalladas se encuentra disponible en el Anexo 3.

Tabla 2

Selección de Códigos Representativos y su Definición

Código	Significación
Compartir ideas y recursos	Acción de poner en común conocimientos, materiales o argumentos con el grupo
Enfrentar tensiones	Reconocimiento y abordaje de desacuerdos entre participantes durante la actividad.
Hacer inferencias pertinentes	Se refiere a la capacidad de extraer conclusiones o anticipar implicaciones no explícitas en los textos o en la discusión
Evaluar la solidez y confiabilidad de los argumentos y las fuentes	Es visible cuando los participantes no aceptan afirmaciones por autoridad, sino que cuestionan o justifican las ideas

Funciones pragmáticas del lenguaje	Uso del lenguaje en contexto con fines específicos como preguntar, ordenar, argumentar, explicar, etc.
Persuadir	Intento de convencer a los otros sobre una idea o postura mediante argumentos o recursos discursivos.
Valoración del contexto histórico en la ciencia	Consideración del momento social, político e institucional en el que se producen las ideas científicas.
Condicionamiento institucional del conocimiento	Reconocimiento de cómo las estructuras académicas y científicas afectan lo que se considera válido saber.

Nota. Elaboración propia a partir de la Red de códigos del Anexo 3.

Posteriormente, se realizó una codificación axial, en la que se analizaron las relaciones entre los códigos emergentes anteriores, para estructurar un marco interpretativo coherente. Los códigos generados fueron organizados y relacionados entre sí mediante su agrupación en cuatro categorías principales: colaboración, comunicación, pensamiento crítico y aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia. Esta organización permitió identificar patrones de interacción, vínculos entre acciones y la construcción de significados compartidos. La Tabla 3 muestra un ejemplo de estos códigos agrupados en categorías, y su desarrollo completo se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 3

Ejemplo de Códigos Agrupados en la Codificación Axial.

Categoría	Códigos asociados
Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia	Cuestionamiento del realismo científico, Articulación entre teoría y experiencia, Tensión entre interpretaciones científicas, Valoración del contexto histórico en la ciencia, Condicionamiento institucional del conocimiento, Reconocimiento de la pluralidad de métodos científicos, Ciencia como práctica humana, Dimensión ética de la ciencia
Comunicación	Modificar el contexto epistémico del otro, Interpretar intenciones y establecer conexiones significativas, Funciones pragmáticas del lenguaje, Persuadir, Explicar, cuestionar y reflexionar colectivamente, Articulación de ideas en distintos formatos, Interpretan significados más allá del lenguaje literal

Nota. Elaboración propia con base en la Red de Códigos del Anexo 3.

La tercera etapa correspondió a la codificación selectiva, entendida como un proceso de integración que permitió consolidar categorías centrales a partir de un mayor nivel de abstracción. Estas categorías articulan y sintetizan las relaciones construidas en la codificación axial, donde previamente se habían agrupado e interrelacionado los códigos identificados en la codificación abierta. En coherencia con la propuesta de Strauss y Corbin (1998), esta etapa posibilitó organizar los hallazgos en torno a núcleos temáticos que orientan la interpretación teórica de los datos y responden a los objetivos de la investigación,

configurando una estructura narrativa y conceptual más robusta. Así, se asumieron como categorías centrales las siguientes:

- La Colaboración en la construcción de explicaciones en ciencias: Tensiones, Acuerdos y Construcción Colectiva del Conocimiento.
- A propósito de los contextos de prácticas dialógicas en los debates de Einstein y Born: Una manera de evidenciar habilidades de pensamiento crítico.
- Las relaciones dialógicas entre Einstein y Born: Una manera de ilustrar el papel de la comunicación en la construcción de explicaciones en ciencias.
- Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en la construcción del conocimiento científico presentes en los discursos de los participantes en torno al debate entre Einstein y Born.

En síntesis, estas categorías recogen los principales códigos desarrollados en las etapas previas y condensan los aspectos clave de los análisis realizados. Es decir, en la cuarta etapa se consolidaron las interpretaciones obtenidas, vinculando los hallazgos con los objetivos de la investigación. En esta fase se seleccionaron los contenidos más relevantes de la información recolectada.

Este proceso buscó preservar la esencia de las discusiones y reflexiones de los participantes, asegurando que el análisis reflejara con fidelidad las ideas y argumentos expresados a lo largo del estudio.

Finalmente, el análisis se llevó a cabo de manera continua y reiterativa, mediante una lectura detallada y repetida que permitió identificar las ideas centrales, establecer su relación con los temas emergentes, construir una lista principal de categorías, examinar cada caso de forma individual y, por último, reconocer las conexiones entre ellos (Allan y Rowlands, 2020).

3.6 Criterios de credibilidad y aspectos éticos de la investigación

En cuanto a los criterios de credibilidad, esta investigación fue desarrollada en distintas fases de validación y revisión académica que fortalecieron la consistencia y el rigor del proceso investigativo. A lo largo del trabajo, los avances fueron presentados y discutidos en espacios académicos como el Seminario Permanente del Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre la Ciencia y su Enseñanza (ECCE), los seminarios semestrales de la

Maestría en Educación en Ciencias Naturales y otros espacios internos de discusión de dicha maestría, lo cual permitió una revisión crítica por parte de profesores, investigadores y pares académicos. Asimismo, la propuesta fue socializada en escenarios externos, como el XII Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía, en los que se recibió retroalimentación de expertos nacionales e internacionales en el área.

Por otro lado, con el propósito de fortalecer la validez de los instrumentos de recolección de información, se implementó un grupo piloto conformado por estudiantes de último semestre de la Licenciatura en Física de la Universidad de Antioquia, en el marco del curso Seminario de Profundización II durante el semestre 2024-2. Esta etapa permitió ajustar aspectos metodológicos y discursivos de los materiales, a partir de la observación directa del desarrollo de las actividades y de las respuestas de los participantes. Adicionalmente, se realizó una validación por parte de expertos en didáctica de las ciencias, quienes ofrecieron observaciones sustantivas sobre la pertinencia, coherencia y claridad de los instrumentos propuestos. Estas estrategias, en conjunto, garantizan que los hallazgos emergen de un proceso sistemático, rigurosamente revisado, y respaldado por una comunidad académica.

Además, la credibilidad, validez y confiabilidad de la investigación se sustentaron en diversos procesos de triangulación, que implicaron la integración y comparación sistemática de datos obtenidos a partir de múltiples fuentes y enfoques metodológicos. En particular, se aplicó la triangulación de instrumentos, al contrastar la información recogida mediante diferentes instrumentos (como registros escritos, grabaciones audiovisuales y fotografías), y la triangulación metodológica, al combinar el análisis cualitativo basado en la Matriz de Coherencia Interna (Anexo 2) de categorías con el marco teórico que orientó la interpretación. También se realizó una triangulación teórica, incorporando diferentes perspectivas para enriquecer la comprensión del fenómeno estudiado. Por último, se contempló la triangulación a través de la validación y revisión de expertos del grupo de investigación ECCE, lo que aportó una mirada crítica y colaborativa que fortaleció la solidez y rigor de los hallazgos (Cisterna, 2005).

Además de la estructuración teórica de la propuesta, donde se seleccionan fuentes confiables y apropiadas, y se atribuye la propiedad intelectual, también se abordan aspectos éticos cruciales para el desarrollo de la investigación. Se garantiza la fidelidad y

confidencialidad en la recolección y el tratamiento de los datos obtenidos de los participantes, gracias a un compromiso ético riguroso y al previo consentimiento informado, debidamente socializado y firmado antes de la implementación de la investigación (ver Anexo 4). Una vez concluida, se realizará una devolución de resultados a los participantes, cerrando así el ciclo de investigación con transparencia y responsabilidad.

Capítulo 4. Hallazgos

Este capítulo se estructura a partir de las categorías que emergieron del análisis de los datos. En primer lugar, se aborda la colaboración como un eje clave en la construcción colectiva de explicaciones científicas, explorando las tensiones, acuerdos y formas de negociación entre los participantes. Luego, se examinan los contextos de prácticas dialógicas inspirados en el debate entre Einstein y Born, los cuales permitieron evidenciar el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. A continuación, se analiza el papel de la comunicación en la construcción del conocimiento científico, considerando el uso del lenguaje con fines epistémicos, la interpretación de intenciones y la adaptación del discurso. Por último, se presentan los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales que atraviesan los discursos de los informantes, en tanto reconocen la ciencia como una práctica situada históricamente, atravesada por tensiones teóricas y condicionada por dinámicas propias de la comunidad científica.

4.1 La Colaboración en la construcción de explicaciones en ciencias: Tensiones, Acuerdos y Construcción Colectiva del Conocimiento

En esta investigación significamos la habilidad de la colaboración como la capacidad de trabajar con otros, asumir diversos roles y participar en la negociación de significados, elementos fundamentales en la construcción social del conocimiento científico (Rachmadtullah et al., 2020). Para dar cuenta de esta habilidad, se propiciaron grupos de discusión a partir de fragmentos históricos relacionados con las correspondencias entre Einstein y Born (1916-1955), dado que, en este contexto de significación se asume la ciencia como un proceso dinámico y colectivo, en el que el conocimiento emerge del diálogo, la confrontación de perspectivas y, en consecuencia, el consenso es la fuente de legitimación de las explicaciones compartidas, tal como lo consideran Evans (2020) al señalar que, la construcción del conocimiento en una comunidad científica no solo requiere compartir ideas y recursos, sino también enfrentar tensiones, negociar acuerdos y comprometerse con una comprensión compartida. Bajo estas circunstancias, la colaboración se constituye en un eje central en la construcción colectiva del conocimiento científico.

En este contexto de significación, para dar cuenta de la colaboración, como habilidad clave en esta investigación, se presentan diferentes unidades de análisis que permiten

evidenciar la colaboración en el proceso de construcción de explicaciones, por parte de los participantes. Cada unidad recoge situaciones específicas en las que los participantes, a través del diálogo, la confrontación de ideas, el ajuste de perspectivas y la toma de decisiones colectivas, fueron configurando y resignificando sus comprensiones. Para ilustrar este proceso, primero se expone un ejemplo particular que muestra cómo la interacción entre los participantes posibilitó un cambio en su interpretación de los textos trabajados. Posteriormente, se presentan otras unidades de análisis que amplían y matizan la manera en que se fueron construyendo colectivamente los significados a lo largo de la experiencia.

Para documentar la habilidad de la colaboración, se les pidió a los participantes que plantearan sus puntos de vista sobre la lectura de los textos (el de Einstein y el de Born). Al respecto, el informante uno (E1, integrante de G1) señaló que, durante el proceso de interpretación, inicialmente el grupo omitió un texto (el texto de Einstein) y agrega que, fue gracias a la intervención de otro participante que se dieron cuenta de la necesidad de también analizar este texto para comprender mejor el contexto y responder a las preguntas propuestas. Esto permitió evidenciar que el proceso de construcción conjunta de ideas no fue lineal, sino que, por el contrario, implicó intercambio de ideas iniciales, ajustes y reconfiguraciones, proceso que tuvo lugar a partir de la interacción entre los participantes. En particular, E1 reconoce que, al principio, su grupo se enfocó únicamente en el texto de Born, pero la observación de E3 amplió la perspectiva del grupo al señalar la importancia de considerar la postura de Einstein, aspecto que propició reorientar la discusión y, en consecuencia, las conclusiones del grupo también se redefinieron.

Aquí, cabe señalar que, mientras E1 y E2 discutieron sobre el texto, otro integrante del grupo asumió un rol de monitor, detectando que la discusión se estaba centrando en una sola perspectiva (la de Born). Al señalar la ausencia de la postura de Einstein, el grupo replanteó el enfoque de la discusión, incorporando elementos que antes no habían considerado. En esta dinámica de discusión, resulta apropiado decir que, el proceso de construcción de explicaciones empieza a surgir de manera colectiva, en el que media el intercambio de ideas y la negociación de significados. Esto puede evidenciarse cuando en las intervenciones de los diferentes participantes se buscó establecer acuerdos para dar respuestas a las preguntas, teniendo en cuenta los argumentos que cada participante exponía.

En este sentido, se resalta el papel de la diversidad de puntos de vista y la capacidad de monitorear, reflexionar y adaptar los procesos individuales y grupales para enriquecer el análisis, aspectos que permiten dar cuenta de la habilidad que, en esta investigación se denomina colaboración. Lo anterior se puede ver en la siguiente intervención:

E1: Entonces primero hay que entrar a ver, pararse bien qué es lo que ellos [Einstein y Born] están definiendo y cómo ellos están interpretando para uno poder traer esos conocimientos y tenerlos bien en cuenta y que no nos pase cosas, como nos pasó en principio que nos enfocamos solo en una parte y E3 fue el que nos habló de la parte de Einstein. Y ahí fue como, ah okay, espere que él también decía esto y eso hizo darles otra lectura a los textos buscando comprender bien que era lo que se podía comentar. (G1, GD1, I1)

Esta intervención pareciera mostrar que la discusión sobre el conocimiento no es solo un ejercicio de exposición de ideas, sino que, por el contrario, es un proceso dinámico en el que los participantes identifican vacíos, revisan sus razonamientos y ajustan sus interpretaciones en función de nuevas perspectivas.

La omisión inicial del texto de Einstein refleja una mirada limitada en el análisis y comprensión del problema que se discutía y, fue justo, a partir de la intervención de uno de los participantes, que el grupo logró identificarla y reorientar el análisis. Luego, mediante la discusión y el intercambio de perspectivas, los participantes lograron establecer un acuerdo que enriqueció su análisis y permitió una comprensión más amplia de la relación entre los textos, que inicialmente leyeron de Born y Einstein. Esto, a juicio del investigador, ilustra que la colaboración no es un proceso automático ni exento de controversias, sino que, por el contrario, implica reconocer diferencias, resolverlas colectivamente y construir significados compartidos.

En este contexto de intercambio de ideas, ajustes y acuerdos colectivos, la discusión siguió profundizándose cuando se les preguntó a los participantes sobre la relación que podían establecer entre la observación y las teorías (aspecto cognitivo-epistémico). Esta nueva interacción permitió no solo ampliar los elementos analizados, sino también fortalecer el papel de la colaboración en la construcción compartida del conocimiento.

Como ya se mencionó, E1 reconoce el papel determinante de E3 en la ampliación del análisis de los textos y en considerar tanto la perspectiva de Born como la de Einstein para dar cuenta, de una manera adecuada y consensuada, de las cuestiones del debate.

En el marco de la discusión, para dar cuenta de la relación entre observación y teoría, se aborda un apartado del texto donde Einstein plantea que la ciencia es un edificio de conexiones intuitivas entre experiencias sensoriales (Einstein, 1936). En este contexto, E1 pregunta a su grupo “¿Qué era lo que [Einstein³] establecía del edificio [de conexiones de experiencias sensoriales⁴]?” En esta pregunta, E1 no solo manifiesta su inquietud, sino que con ella también genera un espacio para que los otros integrantes participen en la reflexión y se dé la reconfiguración de las ideas iniciales, lo que resalta la importancia de la pregunta en las relaciones dialógicas en la búsqueda de consensos.

Además, la forma en que E1 expresa su razonamiento da a entender que, para cambiar su postura, él no se limita a aceptar inmediatamente la nueva perspectiva planteada por E3, sino que, por el contrario, enfatiza en la necesidad de integrar esta nueva visión sobre Born, con lo que ya habían discutido previamente. Esto se pudo evidenciar, cuando E1 expresa que, “entonces [al escuchar los otros argumentos⁵]... nos fijamos bien en esa parte de cómo la íbamos a relacionar”. Aquí, E1 evidencia que el grupo tomó una decisión conjunta sobre cómo articular ambas posturas, lo que se constituye en una evidencia de la colaboración en las explicaciones que cada equipo estaba construyendo. Igualmente, cuando pregunta a sus compañeros “¿cierto?”, no solo busca validación, sino que demuestra una actitud de apertura hacia la negociación de significados dentro del grupo. Esto se corresponde con las características de la colaboración, dado que esta implica la capacidad de tomar decisiones colectivas y ajustar el pensamiento individual en función del diálogo con los otros. Las consideraciones anteriores se pueden evidenciar en el siguiente diálogo:

E1: Al principio nosotros nos enfocamos en Born cuando hablaba de las leyes de Galileo y Newton que se derivaban precisamente de sus observaciones. Nos habíamos centrado en eso, en ese momento intervino E3 y nos dijo, “Venga, pero creo que Einstein y Born tienen una diferencia, porque Einstein, “¿Qué era lo que establecía del edificio?”

E3: No sé, eso lo dijo E2

E1: Fue usted [...]

E1: [...] entonces ahí nos fijamos bien en esa parte de cómo la íbamos a relacionar, o sea, cómo la estábamos relacionando con la idea de Born que teníamos al principio, porque ahí se hablaba de la necesidad de una teoría, ¿cierto?

³ Los corchetes son introducidos por el investigador.

⁴ Los corchetes son introducidos por el investigador.

⁵ Los corchetes son introducidos por el investigador.

E3: Sí. (G1, GD1)

Luego de los ajustes y la integración de diferentes perspectivas en torno a la lectura de los textos, los participantes continuaron explorando la relación entre la observación y la teoría. Este proceso, impulsado por el intercambio y la negociación de significados, no solo enriqueció la reflexión, sino que también fortaleció la construcción de respuestas colectivas. De manera progresiva, el diálogo permitió que nuevas voces asumieran un rol activo en la consolidación de los acuerdos, como se puede evidenciar en la intervención de E2.

Al comparar los fragmentos históricos de ambos autores y sus visiones sobre la ciencia, los participantes, durante la discusión sobre el papel de las teorías en la interpretación de los datos (aspecto cognitivo-epistémico), lograron de manera conjunta, establecer una conclusión, tal como se evidencia cuando afirman que, “Entonces dijimos que...”. Esta expresión da cuenta de que, tras la discusión, construyeron colectivamente una respuesta que reconocía la necesidad de la teoría en la interpretación de los datos. Al respecto, resulta apropiado decir que, si bien este consenso no necesariamente refleja una comprensión precisa de las diferencias entre los conceptos de observación, teoría, ley e inferencia (aspectos cognitivos-epistémicos), el proceso que realizaron pone en evidencia aspectos relacionados con la habilidad de la colaboración.

El análisis hecho hasta aquí, a juicio del investigador, permite decir que, la interacción dialógica facilitó, en los participantes, la reformulación y consolidación de la comprensión, sobre la relación que se puede establecer entre observación y teoría, en lo que se pudieron evidenciar aspectos relacionados con la habilidad de la colaboración: argumentación de los puntos de vista, reformulación de ideas y establecimiento de acuerdos (negociación de significados). Lo aquí planteado se puede evidenciar en la intervención de E2:

[...] cuando buscamos describir los fenómenos que no aparecen en la vida cotidiana o en nuestro entorno, entonces allí es donde se hace necesaria esa teoría. Entonces dijimos que realmente la una [Observación] no es viable sin la otra [Teoría]. (G1, GD1)

En el marco del debate sobre la diferencia entre lo que es una ley y lo que es una teoría, el investigador formula una contra pregunta a partir de la conclusión grupal alcanzada en el cuestionamiento anterior. Inicialmente, E3, se tomó un tiempo para responder (necesitó un momento para reflexionar), lo que sugiere que estaba en un proceso de construcción y ajuste de su propio pensamiento. En ese momento intervino E1, lo que, a juicio del

investigador, fue clave y determinante para la reformulación de E3, dado que se evidencia cómo los participantes se apoyan mutuamente para clarificar conceptos, reorganizar sus ideas y enriquecer la discusión. Esto se corresponde con la idea de colaboración que aquí se tiene, la cual, no se reduce a la simple interacción entre los miembros del grupo, sino que implica también un compromiso mutuo orientado a la construcción conjunta de significados, dado que, no se trata solo de relacionarse con respeto y confianza, sino que también se requiere aportar recursos, ideas y esfuerzos que permitan avanzar en la comprensión del problema. Lo anterior se puede evidenciar en el siguiente diálogo:

Investigador: [...] ahora te escuchaba, en medio de la discusión, señalaste la diferencia entre ley y teoría. Sobre eso ¿qué planteas?, ¿qué diferencia estableces entre esos dos aspectos? [E3 se quedó pensando un momento y E1 intervino].

E1: Cuando tú tratabas de construir la explicación sobre la diferencia entre ley y teoría tú decías que era como un axioma.

E3: Ah, no, pues yo lo que decía ahí era que la construcción de una ley era casi que el proceso inverso de un axioma. (G1, GD1)

Siguiendo esta línea, se les preguntó: ¿Cómo creen que influyen la intuición y la experiencia sensorial en la construcción del conocimiento científico? (aspectos cognitivos-epistémicos y socio institucionales). Aquí, se introduce un aspecto clave en la dinámica de la discusión: el uso de preguntas como estrategia para profundizar en la reflexión conjunta. E2 muestra estar atento a las intervenciones de sus compañeros, dado que se refiere a una afirmación previa y, a partir de ella, formula una pregunta que pone en duda dicha afirmación. Su interrogante se centra en ¿cómo se desarrolla una teoría cuando el fenómeno en cuestión no es accesible a la experiencia sensorial cotidiana? Este aspecto es particularmente relevante, ya que muestra que la discusión no se limita a compartir datos o alcanzar consensos, sino que también implica desafiar ideas y abrir nuevas perspectivas de reflexión.

Además, la pregunta de E2 refleja un esfuerzo por conectar el debate con ejemplos históricos de la ciencia, lo que indica que los participantes intentan vincular lo discutido con el conocimiento de casos históricos. En este sentido, se evidencia la habilidad de la colaboración, ya que según Evans (2020) cada miembro del grupo aporta recursos intelectuales, genera preguntas que estimulan el análisis y contribuye al proceso de construcción colectiva de respuestas.

Lo descrito anteriormente se ve reflejado en la siguiente en el siguiente diálogo:

Investigador: ¿Quieres agregar algo sobre la influencia de la intuición y la experiencia sensorial en la construcción del conocimiento científico?

E2: Eh, no, pues tenía una pregunta.

Investigador: ¿Tienes una pregunta?

E2: No, no tiene que ver con esto.

E1: ¿De qué?

E2: Eh, en lo que dijo E3 de que, si no hay como en la experiencia sensorial, entonces no tienes idea de qué teoría vas a sacar. Entonces, en el caso de Einstein, por ejemplo, con cosas como la velocidad de la luz es constante o la relatividad, ¿cómo se acercó a ese fenómeno si a nivel cotidiano eso no se ve? (G1, GD1)

Ahora, examinemos cómo la colaboración trasciende los límites de un grupo particular y se configura como una práctica discursiva que incorpora, reconoce y resignifica los aportes de otros. En este caso, E1 inicia su intervención reconociendo explícitamente lo dicho por G2, lo que señala una disposición activa a integrar otras perspectivas en la argumentación propia. Esto se evidencia cuando G2 dice: “retomando, por ejemplo, lo que mencionaban las compañeras”. Este gesto es clave porque marca una orientación epistémica hacia la construcción compartida del conocimiento, donde las ideas no se conciben como propiedad exclusiva de un grupo, sino como insumos comunes que pueden ser rearticulados y ampliados.

Ahora se plantea un contexto que articula dos perspectivas: por un lado, un análisis contextual de las repercusiones de la guerra sobre el trabajo, la salud y las relaciones entre científicos, en concordancia con lo expresado en las cartas de Born; por otro, una reflexión ética que remite a discusiones previas del grupo, donde se había abordado el lugar de la responsabilidad del científico en tiempos de crisis.

La colaboración, en este caso, no se limita a una validación superficial del aporte del otro, sino que implica reelaboraciones dando lugar a relaciones dialógicas en la que se negocian significados a fin de lograr consensos, aspectos que, en términos de Evans (2020) están asociados las tensiones que ocurren en el proceso de establecimiento de convenciones, al igual que el preguntar, reformular, clarificar y abrirse a otras formas de ver. En este episodio, la interacción discursiva entre G1 y G2 ilustra con claridad como la colaboración no es un simple acuerdo, sino una forma activa de relacionarse con las ideas del otro para reconstruir colectivamente el conocimiento en ciencias.

El análisis anterior corresponde a un cuestionamiento que se hizo a los grupos en torno al papel de las condiciones sociohistóricas (como la Segunda Guerra Mundial) en los

modos de pensar y hablar de la naturaleza (Aspectos socio-institucionales). Como ya se ha expresado, El construye una respuesta que entrelaza lo escuchado en las discusiones internas de su grupo como se expresa a continuación:

E1: Retomando, por ejemplo, lo que mencionaban las compañeras, por ejemplo, en el texto [Carta de Born a Einstein] no se habla, pero si he tenido, la oportunidad de ver y escuchar a muchas personas o personalidades que están a favor de la guerra y de las crisis, precisamente porque creen que son los momentos en los que la ciencia más evoluciona y donde se suele dar más rápido su desarrollo, precisamente, por esos estados de excepción. Con respecto a la pregunta, creo que en la carta queda muy evidente porque Born señala, como la guerra no solo afectó su trabajo, sino que también afectó su salud y afectó también cómo se relacionaba con los demás científicos, Ya que estos fueran o no partidarios de la guerra, en esta carta y también en la anterior se habla precisamente del rol y la ética del científico en esos momentos de crisis. Que, si no estoy mal, también lo tocamos en la implementación anterior, pero señalaban precisamente esa importancia de la ética del científico, precisamente en estas crisis. (G1, GD3)

A partir de la lectura de la comunicación entre Einstein y Born se planteó la siguiente pregunta ¿De qué manera discutieron y negociaron las distintas interpretaciones sobre las ideas planteadas por los autores? Al respecto E4, expresa, “Pues yo creo que fue muy fluida. Pues como teníamos ideas similares y coincidimos con lo que habíamos pensado” (G2, GD2).

La expresión de E4 sugiere que el trabajo grupal no se desarrolló de manera forzada, sino que fluyó con naturalidad, gracias a la existencia de ideas compartidas entre las integrantes. Desde la perspectiva de la colaboración, esto puede interpretarse como una manifestación de cohesión, donde el diálogo se ve facilitado por referentes comunes que posibilitan una comprensión mutua. En el contexto de la ciencia, el hecho de que varios científicos hayan compartido ideas ha sido decisivo para avanzar en la formulación de teorías y consolidación del conocimiento científico. Por tanto, la coincidencia de ideas no debe entenderse como una limitación, sino como una condición que, bien gestionada, puede fortalecer la construcción del conocimiento. Sin embargo, esta misma coincidencia también podría indicar una escasa confrontación de ideas dentro del grupo. El hecho de que “coincidieron con lo que habían pensado”, sugiere la posibilidad de la reducción del análisis crítico y limita el ejercicio argumentativo.

Consecuente con lo anterior, resulta apropiado decir que la colaboración no solo implica consenso, sino también la apertura al disenso, la problematización de lo dicho y el

cuestionamiento como estrategias fundamentales para enriquecer el conocimiento. Esto último puede notarse con mayor claridad en la intervención de G1 ante la misma pregunta.

Se advierte una diferencia significativa en la manera como se experimenta la colaboración. E1 afirma que el trabajo grupal fue sencillo, en parte porque él y su compañero van muy a la par en lo que piensan. Esta afirmación refuerza la idea de una base común de comprensión que facilita el intercambio como se expresaba con anterioridad. Sin embargo, a juicio del investigador, lo interesante radica en que, a diferencia del grupo anterior, E1 también reconoce momentos de disenso, dado que, en algunos momentos de la discusión, inicialmente, sus opiniones se contraponían. Esta diferencia inicial sugiere una mayor apertura a la confrontación de ideas, lo cual resulta fundamental en los procesos de colaboración, tal como se ha expresado.

El hecho de que hayan logrado superar esas diferencias y llegar a un consenso evidencia que la colaboración, en este grupo, no solo se apoyó en la afinidad de las ideas, sino también en la capacidad de tramitar desacuerdos, negociar significados y reformular posturas. Esta dinámica enriqueció el diálogo, dado que permitió sostener la cohesión sin suprimir la diversidad de perspectivas. Esto se puede evidenciar cuando E1 expresa:

E1: Por nuestra parte diría que fue ciertamente sencillo. Porque normalmente vamos como muy a la par él [E3] y yo en cuanto a lo que pensamos, aunque en la pregunta dos y en la pregunta tres sobre todo fue quizás donde nos diferenciamos más al inicio porque teníamos opiniones contrarias, pero si pudimos llegar a un consenso, podría decirlo rápido y sencillo. (G1, GD1)

En el marco de la discusión también se preguntó por: ¿Considera que las maneras en que los científicos abordan las diferencias y establecen confianza, es decir, la forma en que gestionan sus relaciones interpersonales y las tensiones profesionales, son un aspecto fundamental en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos socio-institucionales).

Al respecto, E5, inicialmente, valora positivamente la afinidad de ideas con su compañera, lo que facilitó una construcción conjunta sin conflictos. Sin embargo, lo que resulta relevante es que E5 reconoce el papel fundamental de las relaciones interpersonales (ya sean de amistad o colaboración profesional), al considerar que estas relaciones permiten la confrontación tranquila y respetuosa de teorías. Este reconocimiento abre la posibilidad de entender la colaboración no solo como la posibilidad de establecer consenso, sino también

como un entorno de confianza que hace posible el disenso, el contraste de ideas y, con ello, el fortalecimiento del conocimiento colectivo. Estas consideraciones se corresponden con lo planteado por Rachmadtullah et al. (2020) cuando expresa que la colaboración implica un compromiso mutuo en el que los participantes aportan recursos intelectuales, se apoyan entre sí y generan condiciones para la construcción conjunta de ideas. Sobre este particular E5 resalta que:

E5: [...] La verdad es que la discusión entre nosotras dos no fue difícil. Digamos que las dos por lo general tenemos un pensamiento muy similar, ¿cierto? Entonces, llegar a una discusión, normalmente no es una discusión, sino como un consenso de ideas. Entonces en cuanto a eso, a lo que llegamos fue que es importante esas relaciones y cómo se dan, ya sean relaciones de amistad, ya sean relaciones de socios, un compañero de un trabajo de investigación. Son importantes porque son las que permiten una confrontación entre las teorías [...]. (G2, GD2)

Contrario a lo ocurrido, en G1 se presenta un desacuerdo inicial: E1 y E2 abordan la pregunta desde perspectivas distintas, lo que evidencia una diferencia en sus puntos de vista sobre el tema discutido. Esta divergencia no representó un obstáculo, sino que impulsó una revisión más cuidadosa del sentido de la pregunta y favoreció un proceso de aclaración mutua. Esta unidad de análisis, en contraste con la anterior, según el investigador, permitió observar un proceso de colaboración marcado por la diferencia inicial de interpretaciones y el esfuerzo conjunto por alcanzar una comprensión compartida.

Para el investigador esta situación ejemplifica que la colaboración no siempre se apoya en la coincidencia inmediata, sino en la disposición a escuchar, replantear y ajustar las propias ideas en función del otro. Como ya se ha dicho, la colaboración en la ciencia requiere un compromiso mutuo que incluye la problematización, el disenso y la negociación de significados. Esta unidad evidencia que, incluso en la diferencia, los participantes logran avanzar hacia un entendimiento común, lo que refuerza la importancia de la apertura, el respeto y la disposición a revisar las propias posturas como condición necesaria para la construcción colectiva de significados.

Además, el hecho de que E1 cierre su intervención con un “continúa por fa” dirigido a su compañero, sugiere no solo una voluntad de escucha activa, sino también una confianza construida en la relación que permite apoyarse mutuamente. Este gesto, aunque sencillo, refleja un aspecto clave de la colaboración: el reconocimiento del otro como interlocutor

válido y necesario para seguir avanzando en el diálogo. Estos aspectos se pueden evidenciar en el siguiente diálogo:

E1: Aquí sí pues tuvimos como un desacuerdo al principio porque pues yo me enfoqué principalmente en las palabras de gestión [Ver la pregunta anterior] y ¿Cuál era la otra?

E2: Abordar diferencias, establecer confianza.

E1: Yo lo pensé de manera general y E2 lo está pensando muy específicamente en esas relaciones, entonces quizás por ahí fue que nos distanciamos porque los dos sí veíamos la importancia, pero yo la veía en todo y él me decía es que, si es importante, pero yo no diría que fuera lo más fundamental. Hasta que seguimos con las otras preguntas como para poder pensar bien. Y ahí sí pudimos verle como una línea o un sentido a esa pregunta como tal. Continúa por fa. (G1, GD2)

Cabe señalar, que la tensión no se produce únicamente al interior de los grupos G1 y G2 como ya se ha expresado, sino también entre ellos. Como se verá en la siguiente unidad de análisis, cuando la discusión se centró en el papel de los instrumentos en la construcción del conocimiento científico (aspecto cognitivo-epistémico), pudo evidenciarse que E5, introduce la expresión “forzar los fenómenos” para destacar que, en muchos casos, los científicos deben crear condiciones específicas para posibilitar la observación o el análisis de ciertos procesos. Esta formulación despierta la inquietud de E3 (G1), quien pide una aclaración sobre el sentido de dicha expresión. Lo relevante no es solo la pregunta, sino el tipo de intercambio que se genera, E5 responde con una explicación que busca hacer explícito su razonamiento, recurriendo a ejemplos que ilustran por qué considera necesaria la intervención y la producción de ciertos fenómenos, con el fin de clarificar lo más posible su idea y que esta sea comprensible por los demás miembros de los grupos. Esta intervención es acogida por E3, quien expresa su comprensión y acuerdo, dando cierre a un proceso de clarificación que fue co-construido en la interacción entre grupos.

Este episodio permite ampliar la noción de colaboración en el marco de la investigación, al mostrar que no se trata únicamente de una dinámica al interior de los grupos, sino de una práctica discursiva que se extiende entre los grupos G1 y G2 cuando las ideas expresadas son tomadas por otros, interrogadas, reelaboradas y finalmente incorporadas a una comprensión compartida. En esta línea, lo que ocurre es una reconfiguración conjunta de los significados, en la que la duda, la pregunta y la explicación se convierten en recursos fundamentales para avanzar en la construcción colectiva de ideas. Esta forma de colaboración se corresponde con lo planteado por Rachmadtullah et al., (2020) al señalar que

construir conocimiento en ciencias exige diálogo, apertura y negociación, lo que implica una disposición permanente a revisar, ajustar y clarificar lo que se piensa y se dice. Lo anterior se puede evidenciar en el siguiente diálogo:

Investigador: Sobre la pregunta relacionada con el papel de los instrumentos en la construcción del conocimiento científico, ¿quieren agregar algo?

E3: No así está bien. Eh, bueno. Lo que me llama la atención la palabra que utiliza E5 de forzar los fenómenos ¿Por qué la eligió? O sea, ¿por qué forzar?

E5: Porque hay cosas que no podemos ver fácilmente con solo observar en la naturaleza. Para estudiar los fenómenos, uno necesita forzarlos a que ocurran. Para estudiar un fenómeno, por ejemplo, hablábamos en electromagnetismo. Por ejemplo, tú quieres estudiar cómo funcionan los rayos ¿Vas a esperar a que haya una tormenta para poder estudiar los rayos? No, tú creas un instrumento que te permita generarlos y estudiarlos más a fondo. En lugar de esperar cada cuánto va a haber una tormenta para poder estudiarla. Entonces, a eso me refiero con forzarlos. También porque hay fenómenos que son muy difíciles verlos o percibirlos así a simple vista. Por ejemplo, los fenómenos cuánticos hay que forzarlos para poderlos ver. ¿Cierto? Porque tú no te pones a ver la mesa y vas a ver las partículas ahí existiendo, colisionando o cómo sea que existan. Pues es un ejemplo de lo que podría ser. A eso me refiero con forzar el fenómeno. Los instrumentos sirven para eso.

Investigador: ¿te parece la explicación que te dio E5?

E3: Sí. (GD3, I3).

En esta línea de pensamiento, el ejercicio propuesto por el investigador fue organizar una lista de aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia según su relevancia, esto opera aquí como un disparador que revela las posiciones iniciales de los participantes y, a su vez, las reconfigura mediante el diálogo.

Inicialmente, los miembros de G1 presentan divergencias internas: E3 prioriza la observación y la experimentación, dejando en segundo plano el contexto social y la comunidad científica. Sin embargo, tras escuchar las intervenciones del grupo G2, E1(miembro de G1) modifica su postura: “ahora estaría más de acuerdo con el de las chicas” (E1), reconociendo que el contexto histórico-social y la ética del científico son determinantes en la construcción del conocimiento. Esta toma de posición no fue un simple acto de asentimiento, sino una reelaboración argumentativa que articuló los contenidos trabajados en las cartas entre Einstein y Born, vinculándolos con el ejercicio propuesto por el investigador.

La intervención de E5, en tanto, busca precisar las implicaciones de lo que plantea E1, preguntándole si la ética debe ser entendida como un elemento equivalente al contexto. La discusión se profundiza cuando E4 introduce una distinción interpretativa clave: la ética

entendida como juicio individual del científico frente a la ética como consenso comunitario. En ese punto, se hace evidente que las diferencias no son solo términos, sino que remiten a concepciones distintas sobre la responsabilidad científica y su relación con el entorno sociocultural.

Esta intervención da cuenta de cómo la colaboración se manifiesta también a través de una tensión dialógica: las posturas se confrontan, se matizan y se reconfiguran en función de los intercambios. El recupera su argumento apelando al caso de Einstein y su postura frente a la guerra, lo que evidencia un uso activo del material histórico para sustentar su punto de vista. Aunque no hay un consenso final, el diálogo permite legitimar distintas formas de entender la ética en la ciencia, enriqueciendo la comprensión colectiva del grupo.

En este sentido, la unidad de análisis ejemplifica cómo la colaboración no implica homogeneidad de ideas, sino la disposición a reconocer, interrogar y reelaborar las propias concepciones a partir de las contribuciones del otro. Así, se configura un espacio de construcción conjunta del conocimiento en ciencias donde se legitiman las diferencias y se clarifican las nociones en disputa.

Las tensiones que surgieron en las relaciones dialógicas se pueden evidenciar en el siguiente diálogo:

E1: Pues, ahora estaría más de acuerdo con el de las chicas porque yo también [...] Pero yo llegaba a la misma conclusión que ellas. Es que por más organización empírica que uno les dé a los aspectos científicos, siempre lo que va a marcar la construcción y cómo se desarrolla es el contexto histórico social. Esto es lo mismo que nos viene enseñando las cartas. Es tanto la influencia del contexto social como la ética del científico, lo que va a marcar cómo él va a construir y desarrollar dicha teoría o experimento. Entonces, en esa parte estaría más al lado de ellas, porque siento que uno siempre va a estar primero atravesado por el contexto que por la sistematización del desarrollo científico.

Investigador: Con relación al comentario que realiza E1, ustedes ¿Agregan algo?

E5: Entonces, tú [refiriéndose a E1] estás diciendo que la ética no sería lo último, sino que estaría al lado de la influencia del contexto.

E1: Claro.

E5: Pero la ética del científico.

E4: Pero es que depende de cómo se interpreta la ética.

E5: Tú Interpretas la ética como lo que el científico concibe como lo que está bien. Nosotras interpretamos la ética de la ciencia como lo que la comunidad interpreta que está bien.

E4: Lo vemos por el lado de que muchas veces el rol de los científicos no prevén el bien o el mal de sus investigaciones científicas.

E1: Sí, pero yo tengo la creencia de que el científico es el que manda la parada, o sea, basándome por ejemplo en lo que expresaba precisamente Einstein en el texto que leímos la implementación pasada, este hablaba en una parte de la ética del científico y la importancia de esta y también señalaba, su ética, cómo él vivió las diferentes guerras sin necesariamente, estar en contra o desarrollar para ellas como tal. Entonces, yo lo vi desde esa parte, pero también entiendo su punto, que era justo lo que hablaba ahorita sobre las guerras... (GD3).

En este punto del análisis, se reconoce una correspondencia significativa entre distintas formas de asumir la construcción del conocimiento a lo largo de las unidades analizadas. En varias de ellas, los desacuerdos entre participantes no se presentan como obstáculos, sino como elementos que activan el diálogo reflexivo y la generación de nuevas preguntas, lo que permite fortalecer la construcción compartida. Esto sugiere que la colaboración, tal como se interpreta desde esta investigación tiene que ver con una disposición a sostener el intercambio argumentado, revisar las propias posturas y avanzar colectivamente en la comprensión.

En síntesis, en esta investigación se pudo establecer que, la colaboración no se limita a un simple intercambio de ideas, sino que se constituye como un proceso dinámico en el que el contraste, la confrontación y el disenso juegan un papel esencial. Como ya se ha señalado, el verdadero valor de la colaboración reside en la capacidad para gestionar las tensiones y los desacuerdos de manera constructiva, creando un espacio de confianza que fomente el diálogo y la reflexión crítica. Bajo estas circunstancias, es posible justificar la construcción colectiva del conocimiento, es decir el conocimiento como producto de un esfuerzo colectivo en el que, el consenso es la fuente de legitimación por excelencia.

4.2 A propósito de los contextos de prácticas dialógicas en los debates de Einstein y Born: Una manera de evidenciar habilidades de pensamiento crítico

En esta investigación se asume el pensamiento crítico como la capacidad de razonar, interpretar, analizar y establecer interconexiones entre sistemas de información para abordar problemas complejos y tomar decisiones fundamentadas (The Partnership for 21st Century Learning, 2015; Rachmadtullah et al., 2020). Esta habilidad no solo se limita a evaluar la calidad epistémica de la información disponible (Pasquinelli et al., 2021), sino que también implica acciones para discernir argumentos, realizar inferencias pertinentes, verificar el razonamiento y autorregularse frente a posibles inconsistencias (Facione, 1990; 2011).

Al respecto, para evidenciar manifestaciones de pensamiento crítico en las interacciones y producciones de los participantes, se retomaron y adecuaron para el estudio, las dimensiones propuestas por Facione (1990, 2011). En este sentido, se consideraron como indicadores clave del pensamiento crítico las siguientes acciones: (1) interpretar el significado y el contexto de la información, lo que implica reconocer el sentido de los discursos analizados en relación con el problema planteado y el momento histórico discutido; (2) discernir argumentos a favor y en contra para tomar decisiones fundamentadas, lo cual se evidencia cuando los participantes contrastan posturas científicas e históricas; (3) hacer inferencias pertinentes, que se refieren a la capacidad de extraer conclusiones o anticipar implicaciones no explícitas en los textos o en la discusión; (4) evaluar la solidez y confiabilidad de los argumentos y las fuentes, visible cuando los participantes no aceptan afirmaciones por autoridad, sino que cuestionan o justifican las ideas; (5) ofrecer explicaciones claras del razonamiento seguido para interpretar la información y tomar posición, haciendo visibles las relaciones que construyen entre los conceptos; y (6) autorregularse, es decir, revisar y ajustar su interpretación o su postura ante contradicciones, nuevas evidencias o aportes de sus compañeros.

Estas dimensiones guiaron la lectura analítica de las unidades seleccionadas y permiten comprender cómo los participantes movilizaron procesos de pensamiento crítico frente a las tensiones conceptuales, epistémicas y éticas que emergieron de las lecturas abordadas durante la implementación. Cabe señalar que, si bien en el análisis, los indicadores de pensamiento crítico emergen en el discurso de los participantes, en algunos apartados se optó por hacer explícita su vinculación con la habilidad de pensamiento crítico. Esta estrategia responde a la necesidad de esclarecer el marco interpretativo que guía el análisis, sin saturar el texto con referencias constantes a cada indicador.

Para dar cuenta de la habilidad de pensamiento crítico, en el contexto de las prácticas dialógicas (discusiones y debates), se pidió a los participantes que plantearan sus puntos de vista sobre la lectura de los textos de Albert Einstein y Max Born. En este ejercicio, E1, contrastó los textos trabajados con su experiencia previa, obtenida en otros cursos disciplinares. Al respecto, señaló que los textos analizados no son “muy directos” y que exigen una mayor interpretación, aquí, E1 identificó una diferencia entre los esquemas de

lectura habituales en los cursos de física (generalmente asociados a manuales estructurados, con un lenguaje prescriptivo y explícito) y el tipo de lectura que demandan los textos de Einstein y Born, caracterizados por un enfoque más abierto, argumentativo y conceptualmente complejo. En ese reconocimiento, se evidencia que el participante no se limita a emitir un juicio sobre la dificultad, sino que también transforma su relación con el texto: lo interpela, lo interpreta y lo sitúa en un nuevo marco de exigencia intelectual, lo que permite inferir que el informante interpreta el significado y el contexto de la información, los cuales son indicadores de pensamiento crítico.

E1 reconoce que para comprender e interpretar adecuadamente el contenido, debe asumir una posición consciente y estratégica frente al texto, lo que implica analizar tanto el contenido como el modo en que es presentado. Esta disposición no solo permitió identificar el sentido de los textos, sino también activar mecanismos de evaluación y síntesis que fortalecieron su comprensión crítica.

Lo anterior permite decir que, E1 manifestó comprensión sobre la complejidad del contenido y la necesidad de ajustar sus estrategias de lectura a las nuevas demandas cognitivas que le plantearon los textos propuestos. Al respecto, también se puede decir que, el participante movilizó habilidades de análisis e interpretación para construir sentido a partir de ideas implícitas, matices conceptuales y debates epistemológicos, subyacentes en las comunicaciones ocurridas entre Einstein y Born.

Además, cuando menciona que “a uno en los textos de física le dan como simples nociones” contrasta estos textos con otros materiales, previamente trabajados, no solo estableció conexiones entre contextos disciplinares, sino que muestra disposición a reconfigurar su comprensión. Esta apertura al reajuste, junto con la sensibilidad para identificar niveles de complejidad discursiva, son indicadores de pensamiento crítico, en términos de la capacidad de interpretar, discernir, evaluar y autorregularse frente a la información (Facione 1990, 2011).

Lo anterior se puede interpretar en la intervención de E1, cuando expresa que:

Yo diría que, a nivel de contenido, los textos de Einstein y Born son muy interesantes, pero creo que a nivel de interpretación nos cuesta un poco más porque normalmente los textos que uno suele trabajar en las materias disciplinares de la carrera, suelen ser muy directos, muy al grano. Y acá se evidencia más cómo ellos mismos [Einstein y Born] se relacionaban y a uno en los textos de física le dan como simples nociones

por así decirlo. Entonces primero hay que entrar a ver, pararse bien qué es lo que ellos [Einstein y Born] están definiendo y cómo ellos están interpretando para uno poder traer esos conocimientos y tenerlos bien en cuenta [...]. (G1, GD1).

Ante la misma pregunta (Plantear puntos de vistas sobre las lecturas de textos de Albert Einstein y Max Born) E2, centró su atención en la forma discursiva de los fragmentos leídos. A diferencia de E1, que subraya la dificultad en la interpretación, E2 señala que el mayor reto no es el lenguaje técnico en sí, sino la estructura del discurso, la cual se aleja del formato académico tradicional al que están habituados. El participante reconoce que los textos trabajados adoptan una forma más narrativa o epistolar, lo que exige una lectura que va más allá de la extracción de información explícita. En lo planteado por E2, a juicio del investigador, se manifiesta pensamiento crítico porque pone de manifiesto la evaluación del texto no solo en cuanto a lo que dice, sino también en cómo lo dice.

Cabe señalar que E2 está identificando un obstáculo en la organización de las ideas y, al mismo tiempo, es capaz de reconocer el valor del contenido (“ideas muy potentes”), mostrando una disposición activa a examinar, interpretar y ajustar la estrategia de lectura (en este caso) según las características del texto, lo que coincide con lo planteado por Facione (2011) sobre la autorregulación y el monitoreo del propio pensamiento en procesos de comprensión compleja. Estas consideraciones se pueden interpretar en lo planteado por E2, cuando expresa:

Me gustaría destacar que el lenguaje de los textos de Einstein y Born no representan mayor problema, lo que a mí se me hace difícil, es decir, leer y no entender completamente, es la estructura, porque aquí se tienen ideas muy potentes y como estamos acostumbrados a que cuando se lee un artículo ahí ya está todas las ideas en orden. En cambio, estos textos están como en forma de prosa, es decir, como si estuvieran hablando. Este aspecto se me dificulta, pero igual, si uno los analiza bien, son entendibles, pues estos no son tan antiguos. (G1, GD1)

En esta intervención pareciera señalarse la necesidad de releer los textos, lo cual refuerza la idea de que la comprensión no es inmediata, sino que requiere un trabajo interpretativo deliberado. Este ejercicio deja ver habilidades de pensamiento crítico porque se reconoce la necesidad de ajustar el enfoque de lectura, evaluar la estructura y buscar sentido más allá de la forma superficial del texto.

Bajo la misma línea del cuestionamiento anterior, E3 logra identificar tensiones interpretativas entre las posturas de Einstein y Born, aun cuando estas no están expuestas de forma explícita en los fragmentos trabajados. Este esfuerzo de distinción revela habilidades

de análisis y evaluación de información, tal como ha sido caracterizado en la definición del pensamiento crítico aquí planteada (hacer inferencias pertinentes). Esta interpretación emerge porque el participante extrae relaciones no explícitas entre las posturas de los autores a partir del análisis del texto.

Sin embargo, lo más relevante para el investigador no es únicamente la identificación de diferencias conceptuales, sino la manera en que E3 asume los límites de su comprensión, cuando afirma que: “de pronto es que nosotros no sabemos lo suficiente para saber la diferencia clara”. Aquí, E3 no evade la dificultad, sino que la enuncia, reconociendo la necesidad de profundizar su lectura. Esta actitud revela una forma de autorregulación cognitiva que implica evaluación del propio conocimiento, identificación de vacíos y disposición para el reajuste. En este sentido, el participante no se limita a comprender lo leído, sino que problematiza activamente su comprensión, abre espacio para la revisión crítica y se muestra dispuesto a afinar sus interpretaciones, lo cual constituye según Facione (1990, 2011) una forma sustantiva de pensamiento crítico en el marco de una práctica dialógica. Lo anterior se evidencia en lo planteado por E3, cuando expresa:

Pues a mí me parece que los textos de Einstein y Born están densos porque son muy filosóficos. Entonces hay que leerlos más de una vez para poder medio entenderlos. Porque, las dos posturas [De Einstein y Born] son ligeramente diferentes, entonces también es difícil marcar cuál es una y cuál es la otra. O de pronto es que nosotros no sabemos lo suficiente para saber la diferencia clara, también. (G1, GD1)

Anteriormente se señaló que los participantes, si bien percibían un matiz distinto en las posturas de Einstein y Born, no lograban delimitar con claridad en qué consistía esa diferencia. No obstante, en las intervenciones asociadas a la pregunta sobre las incidencias de las creencias personales y éticas en la interpretación de las teorías físicas (Aspectos socio-institucionales), los participantes lograron ciertas precisiones.

En el marco de las prácticas discursivas, los participantes identificaron y contrastaron las posturas de Einstein y Born, no solo desde lo teórico, sino que consideraron las creencias personales y éticas que las sustentan. E1 señala que “Einstein, precisamente su convicción en el determinismo y en un universo ordenado, lo llevó a rechazar... la mecánica cuántica, mientras que Born acepta la indeterminación, motivado quizás por su ética” (E1). Esta intervención revela una evaluación crítica sobre como las convicciones personales inciden en la interpretación científica.

E3 enriquece aún más la discusión al problematizar una aparente contradicción en Einstein: “quieres un universo determinista, pero con individuos libres”, esto muestra una capacidad de análisis que va más allá de la comprensión conceptual. Al destacar esta tensión, E3 no solo identifica un conflicto ético-epistémico, sino que interpreta que Born la utiliza estratégicamente para reforzar su posición.

Al respecto, resulta apropiado decir que, estas intervenciones evidencian procesos fundamentales del pensamiento crítico, relacionados con la evaluación de supuestos subyacentes a las posturas científicas, la identificación de tensiones internas en los marcos conceptuales de los autores y el reconocimiento de que la producción científica no está escindida de las convicciones personales, éticas o filosóficas de quienes la ejercen. Al analizar cómo las creencias de Einstein y Born influyen en su aceptación o rechazo de la mecánica cuántica, los participantes no solo interpretan el contenido, sino que examinan las implicaciones que estas creencias tienen en la formulación de teorías. Esta reflexión permite problematizar la idea de que la ciencia es un proceso puramente objetivo, mostrando cómo las posiciones éticas o personales pueden orientar, limitar o potenciar ciertas maneras de comprender el mundo.

Estas consideraciones se pueden interpretar en el siguiente diálogo:

E1: Creo que las incidencias de las creencias personales y éticas en la interpretación de las teorías físicas es mucha, debido a que, por ejemplo, Einstein, precisamente por su creencia, su convicción en el determinismo y en un universo ordenado eso es lo que lo lleva a rechazar, de facto, la mecánica cuántica. Mientras que Born, acepta la indeterminación como una realidad física y aparte de eso... ¿Cómo decirlo? Motivado quizás por su ética, rechaza un mundo mecánico y predeterminado y se acerca a la mecánica cuántica, porque él sí creía que la física servía para hacer un acercamiento, pero no para que fuera una verdad absoluta.

E3: A mí me parece que las creencias personales y éticas en la interpretación de las teorías físicas inciden en el sentido de que ellos no pueden desprenderse de su subjetividad. O sea, como decía E1, Einstein negaba la mecánica cuántica porque eso iba en contra de su percepción del mundo, determinismo le decía. Pero a la vez Born, se aprovechaba de la percepción de Einstein frente a la ética, pues este hablaba de una ética libre o algo así de individuos libres, entonces Born le decía “Mira, es que tú estás teniendo una contradicción porque quieres un universo determinista, pero con individuos libres”. Entonces, como que se aprovechaba de eso para tratar de decirle a Einstein véngase para acá. Acepte mi teoría. (G1, GD3)

En ese hilo de la conversación, emergen nuevas elaboraciones que permiten avanzar hacia una comprensión de cómo emerge el pensamiento crítico en las discusiones sobre los

fragmentos históricos de Einstein y Born, de esta manera, en el marco de la discusión sobre la relación entre observación y teoría (Aspectos cognitivo- epistémicos), E2 expresa: “vimos esta diferencia con Einstein”, aquí el informante distingue entre las concepciones de Einstein y Born sobre la realidad física, esto señala que no solo interpreta los textos, sino que discierne argumentos a favor y en contra en un proceso de diferenciación conceptual que le permite establecer contrastes argumentativos. Identifica, por ejemplo, que para Born no toda experiencia sensorial puede considerarse como criterio para la construcción de una realidad física, mientras que para Einstein las impresiones sensoriales tienen un rol central en la construcción del conocimiento científico.

Este ejercicio exige más que una comprensión literal: supone la capacidad de comparar visiones epistemológicas contrarias, articular conceptos de forma coherente y formular relaciones entre afirmaciones teóricas y sus fundamentos (indicador 2). En este sentido, E2 manifiesta una disposición analítica que permite situar las ideas en un marco más amplio de reflexión, reconociendo tensiones conceptuales sin reducirlas a una oposición simple. De acuerdo con la interpretación del investigador, este tipo de intervención se inscribe en una práctica discursiva orientada por el pensamiento crítico, en tanto el participante no se limita a reproducir información, sino que busca comprender las implicaciones de las ideas, establecer conexiones interpretativas y construir su propio juicio con base en la lectura (The Partnership for 21st Century Learning, 2015). Tal como se puede apreciar en la siguiente intervención:

E2: la diferencia entre las perspectivas de Einstein y Born recaen en esta parte del texto donde dice Born, no tomamos como criterio de esta realidad [Física] cualquier impresión sensorial o experiencia aislada. Es decir, pues vimos esta diferencia con Einstein, porque Einstein si usaba muchos elementos de experiencias sensoriales o pensamiento cotidiano. En cambio, Born, decía que no cualquier sensación. (G1, GD1)

Lo anterior puede complementarse cuando se discute sobre la diferenciación entre las perspectivas de Einstein y Born. Aquí los integrantes de G1 no se limitan a reconocer posturas divergentes, sino que realizan un esfuerzo por comprender sus fundamentos y establecer conexiones lógicas entre ellas. Los participantes no solo identifican que ambos científicos abordan de forma distinta la relación entre observación y teoría, sino que intentan

explicar cómo esas diferencias responden a distintas concepciones sobre el conocimiento científico.

Por un lado, reconocen el papel de la experiencia sensorial en la construcción de conceptos primarios para Einstein; por otro, introducen una idea más compleja: la existencia de fenómenos que no son directamente accesibles a los sentidos y que requieren dispositivos o herramientas teóricas para ser interpretados. A partir de esta discusión, refinan su razonamiento inicial y elaboran una comprensión más sofisticada del rol de la teoría como mediadora entre lo observable y lo inteligible, lo que implica una evaluación epistemológica implícita. En términos de pensamiento crítico, esta intervención permite reconocer que, el grupo realiza inferencias complejas, articula ideas en un entramado conceptual coherente y valora el papel de los marcos teóricos como condiciones de posibilidad para interpretar el mundo. Esto puede interpretarse cuando E2 expresa:

Sí. Einstein y Born establecen rutas diferentes entre la observación y la creación de teorías. Encontramos que más o menos la ruta de Einstein era que primero había unas experiencias sensoriales y a partir de estas experiencias con ayuda de la intuición se hallan unos conceptos primarios [...] Entonces y teniendo claro que no todo se puede observar tan fácil, sino que a veces hace falta dispositivos amplificadores. Y en esos casos, la observación no es tan clara allí, de hecho, es incomprensible si no hay una teoría que ayude a interpretarla o un concepto abstracto cuando buscamos describir los fenómenos que no aparecen en la vida cotidiana o en nuestro entorno, entonces allí es donde se hace necesaria esa teoría. (G1, GD1)

Para seguir explorando la habilidad de pensamiento crítico en el marco de las prácticas dialógicas alrededor de los debates de Einstein y Born, se preguntó a los participantes, ¿Cómo crees que influyen la intuición y la experiencia sensorial en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales). En esta discusión se pudo establecer cómo los participantes articulaban conceptos relacionados con la percepción, el uso de herramientas y la intuición, lo que facilitó observar algunos aspectos relacionados con el pensamiento crítico (procesos de razonamiento y evaluación).

En el marco de la discusión, se puede ver como E3 no solo reflexiona sobre el papel de las herramientas en la ciencia, sino que también problematiza la relación entre percepción, intuición y realidad, lo que implica un intento de conectar ideas entre la experiencia sensorial, la intuición y el uso de instrumentos científicos. Su reflexión parte de una idea clave: los

dispositivos no tienen sentido sin una disposición previa del sujeto a percibir o intuir que hay algo por conocer.

Además, esto implica una evaluación de la calidad epistémica dado que, el participante pregunta cómo se constituye la percepción como una vía legítima para el conocimiento científico, lo cual revela una actitud crítica frente a aquello que suele asumirse como evidente en el acto de observar. Este tipo de reflexión es un claro ejemplo de la capacidad de ir más allá de la información inmediata, de examinar supuestos y de autorregular el juicio propio, tal como lo plantea Facione (1990, 2011). En este sentido, se puede decir que, la intervención de E3, da cuenta de algunas operaciones fundamentales del pensamiento crítico: interpretación, análisis, evaluación y disposición al cuestionamiento. Esto se pudo interpretar en el siguiente fragmento:

E3: [...] A la final una herramienta busca es potencializar eso que ya sentimos, esa información que recibimos. Pero pues a la larga, si no tenemos ni siquiera una pequeña idea de qué o una intuición de que hay algo que ver y qué es, y a pesar de que mi cuerpo no recibe esa información, puedo conseguir esa información a través de una herramienta, pues si yo no tengo esa percepción, pues simplemente no existe. Entonces creo que ahí juega mucho la experiencia sensorial. (G1, GD1)

Complementario a la situación anterior, en medio de las discusiones generadas por el análisis de las cartas entre Einstein y Born, se propició un escenario para discutir sobre la influencia de la condición humana en la construcción del conocimiento científico. Al respecto se planteó la pregunta: ¿Considera usted que la condición humana (credibilidad, confianza, respeto, autoridad y valores éticos) incidió en la construcción del conocimiento científico planteado por Einstein? (Aspectos socio-institucionales). Las respuestas de G1 y G2 revelaron cómo los participantes vincularon elementos éticos y humanos con el proceso científico, estableciendo relaciones entre las dimensiones interpersonales y la legitimación del conocimiento.

En la discusión, la intervención de E5 evidencia una comprensión histórica del conocimiento, al vincular el desarrollo científico con las condiciones del entorno social y temporal en el que surge.

Desde la perspectiva del pensamiento crítico, este tipo de respuesta permite observar la capacidad del participante para situar las teorías científicas de un marco más amplio, en el que confluyen factores contextuales, acumulación de saberes y debates propios de cada

época. Esta disposición a considerar el conocimiento como producto de una historia compartida y no como resultado aislado de individuos, indica una actitud reflexiva, una conciencia epistémica y una apertura al análisis complejo del quehacer científico (indicador 6). En estas prácticas dialógicas, se activaron operaciones propias del pensamiento crítico como la interpretación contextual (indicador 1), la evaluación de supuestos (indicador 4) y la conexión entre lo explícito y lo implícito en los discursos científicos (indicador 3). Tal como se expone en las siguientes intervenciones:

E5: [...] Con respecto a la pregunta de la condición humana en el desarrollo del conocimiento científico, para nosotras, si tiene que ver pues, no sería lo mismo que Einstein estuviera en la época de Galileo, el boom científico no sería el mismo. Los conocimientos o la construcción a la que se quiere llegar no es la misma. Es decir, en ese momento de Einstein estábamos en la luz y en cambio en la época de Galileo estábamos era en los astros, el movimiento de la Tierra, la caída de los objetos. Entonces, a lo largo de la historia, pues se va construyendo el conocimiento y si estuviéramos en una época anterior, no tendríamos el conocimiento que se construyó antes, es decir, no tendríamos las bases que se tenían para ese momento. Entonces, el momento histórico y las condiciones humanas influyen mucho en la teoría que uno va construyendo. (G2, GD2)

A la misma pregunta G1 responde lo siguiente:

E1: Entonces, por esa parte recuerdo que Einstein también criticó, cuando Alemania quiso ir a la guerra, además, cuando le tocó huir de Alemania por el nazismo. Entonces, sí o sí toda condición humana implica y sobre todo más en lo social, implica en el cómo se relaciona con el otro y también en cómo se construye el conocimiento. O sea, yo no creo que, si Einstein no hubiera sido en ese momento un científico tan relevante, no creo que se tomaría quizás los atrevimientos por decirlo así, de tratar mal a Max Born [Haciendo referencia que, en la carta de Einstein, este le dice que era una puta] o no solo a Max, sino a muchos y hablar con tanta autoridad como tal. Entonces, después dialogando eso, llegamos a la conclusión de que sí era realmente importante la condición humana como tal para la construcción del conocimiento científico. (G1, GD2)

Esta unidad de análisis de G1 permite establecer un contraste interesante con la de G2, tanto en el tipo de razonamiento como en el modo en que se aborda la pregunta sobre influencia de la condición humana en la construcción del conocimiento científico. Mientras el G1 recurría a una visión histórica, centrada en cómo los avances previos y el momento histórico condicionan las posibilidades teóricas, el G2 enfoca su atención en aspectos interpersonales y sociales de la práctica científica.

Aquí, G1, reconoce que la condición humana incide directamente en cómo los científicos se relacionan, construyen confianza y ejercen autoridad. Es interesante ver cómo

van más allá del texto y destacan, por ejemplo, cómo Einstein no solo se involucró en debates científicos, sino también en conflictos sociales y políticos, ejemplificado en su postura frente al nazismo, lo que sugiere una visión del científico como sujeto situado ética y políticamente.

Desde el enfoque del pensamiento crítico, es posible interpretar que esta unidad pareciera reflejar una capacidad para analizar cómo el reconocimiento, la relevancia y la autoridad influyen en la legitimidad y en el desarrollo mismo del conocimiento, lo cual es un indicio de lo que aquí denominamos una acción para evaluar la solidez y confiabilidad de los argumentos y las fuentes, ya que se cuestionan las bases sobre las que se valida el saber científico. A diferencia del G2, este grupo subraya el papel del carácter, el contexto político y la percepción social del científico como elementos que afectan las dinámicas del saber, lo que pone en evidencia la interpretación del significado y el contexto de la información.

Finalmente, conviene decir que, al reconocer los informantes cómo estas variables inciden en la construcción del conocimiento, estos mostraron una disposición reflexiva que les permite cuestionar visiones tradicionales de la ciencia y situarlas en marcos éticos y contextuales más amplios.

Al investigador le llama la atención que a pesar de que G1 tiende a establecer una separación explícita entre lo científico y lo social, como si fueran dos aspectos independientes, en su intervención se hace evidente que estos se entrelazan de manera significativa en la práctica científica. Esto se evidencia cuando expresan: “Entonces, sí o sí toda condición humana implica y sobre todo más en lo social, implica en el cómo se relaciona con el otro y también en cómo se construye conocimiento” (G1).

Aunque plantean que la autoridad, la confianza o los valores éticos corresponden más al plano humano o social, y que lo científico se rige por criterios más objetivos o racionales, sus propios argumentos contradicen esta dicotomía. Al reconocer que la posición social de Einstein, su autoridad en la comunidad científica y su postura frente a situaciones políticas influyeron en la forma como se construía y se validaba el conocimiento, los participantes evidencian que los factores sociales no solo acompañan, sino que configuran, en parte, las condiciones de producción científica.

Esta tensión entre lo que consideran idealmente “objetivo” y lo que reconocen como práctica situada y humana es un indicio de pensamiento crítico dado que comienzan a

interpretar el significado y el contexto de la información (indicador 1), y a evaluar los supuestos implícitos que sostienen sus propias ideas sobre la ciencia (indicador 5). Además, la forma en que logran sostener esta tensión sugiere un proceso de autorregulación del pensamiento (indicador 6), al reconsiderar sus propios marcos interpretativos frente a los dilemas éticos y sociales que rodean la producción científica.

Además, llama la atención la manera en que G1 interpreta el uso del lenguaje entre Einstein y Born como un indicio del tipo de la relación interpersonal que existía entre ellos. Uno de los participantes señala que Einstein se atreve a expresarse con tanta franqueza incluso usando términos fuertes, porque, según su interpretación, había una relación de confianza y reconocimiento mutuo entre ambos científicos, así mismo la autoridad de Einstein en la época le permitía tener cierta confianza para contradecir las ideas del otro (en este caso la mecánica cuántica). Este comentario no solo indica que los participantes están leyendo más allá del contenido literal del texto, sino que también reconocen que la autoridad científica, la trayectoria y la confianza personal pueden influir en la forma de argumentar y el tipo de diálogo que se establece en la comunidad científica.

Además, G1 en lugar de centrarse únicamente en lo que dice el texto, introduce elementos de análisis adicionales, mostrando una comprensión más amplia del fenómeno científico, coherente con una actitud crítica, ya que se evidencia la interpretación del significado y el contexto de la información (indicador 1), la evaluación de la solidez y confiabilidad de los argumentos y las fuentes (indicador 4) al considerar la influencia de la autoridad científica, y la evaluación de supuestos implícitos (indicador 5) al problematizar el papel de las relaciones personales en el diálogo científico.

En el contexto de una práctica dialógica centrada en el análisis de la correspondencia científica, se generaron intercambios que propiciaron la construcción compartida de sentido a partir de la indagación colectiva. Además, se buscó indagar si los participantes reconocen la influencia de los contextos políticos y sociales en la producción de conocimiento científico, específicamente en la obra y pensamiento de Einstein (Aspectos socio-institucionales). Esta pregunta invitó a los participantes a reflexionar sobre la posible neutralidad o no neutralidad del científico, considerando su contexto histórico y sus posicionamientos públicos. Las respuestas obtenidas permitieron explorar cómo las condiciones sociales pueden incidir en la

formulación de teorías, en la toma de decisiones científicas y en la postura ética de dichos actores.

Puede verse en la siguiente intervención que E1 reconoce que la perspectiva teórica de Einstein no puede separarse de los contextos político y social en los que vivió. El participante establece una relación clara entre las guerras que marcaron la época de Einstein y la forma en que esas circunstancias afectaron su pensamiento. Si bien el participante no desarrolla con precisión los elementos sistemáticos involucrados, identifica que la ciencia no es ajena a los usos políticos y que puede ser instrumentalizada para validar ideologías. Desde el pensamiento crítico, este tipo de reflexión implica una lectura contextual del quehacer científico que reconoce que la ciencia está atravesada por tensiones sociales, éticas y políticas. E1, además, muestra una disposición a problematizar los límites entre el conocimiento científico y los fines con los que puede ser empleado, lo cual evidencia una toma de postura que se apoya en el análisis histórico del caso trabajado, esto último tiene que ver con la toma de posición frente a un problema o situación (indicador 6), al señalar críticamente los vínculos entre ciencia, ideología y contexto histórico. Estas consideraciones se pueden interpretar en el siguiente diálogo:

E1: [...] sobre todo porque la época de Einstein fue marcada precisamente por las guerras. Además, en algún punto del texto incluso hablaban de la ética. Entonces era... claro, nosotros lo relacionamos por ese lado y consideramos que Einstein si se vio tan afectado por las condiciones políticas y sociales que se dieron en su época y también por como la ciencia tuvo mucho que ver con mucho de lo vivido y precisamente esas condiciones porque se usaba la ciencia para validar ideas políticas. (G1, GD2)

Con respecto a la misma pregunta G2 responde lo siguiente:

E4: También habíamos mencionado que parte de la tarea de los científicos era responder a las necesidades de su contexto. Habíamos mencionado también que...

E5: Respondía a lo político y a lo social.

E4: Eso, que respondía también a la presión política en ese contexto histórico, porque se tenía una carrera en el contexto de Einstein. Se tenía una carrera política por querer que el país fuera resaltado, esto debido al contexto político que se tenía. Entonces, dijimos que también está muy permeado por eso, también es necesario reconocer el papel de la financiación, pues la disposición y los fondos que se ponga para los científicos también está muy permeado por esos asuntos políticos y las dinámicas que se tengan en ese contexto histórico. (G2, GD2)

En la unidad de análisis de G2, puede evidenciarse una mirada estructural y contextual frente a la incidencia de lo político y lo social en la actividad científica. A diferencia de la

intervención de G1, donde el foco estuvo en la dimensión ética individual de Einstein y su posicionamiento frente a las guerras y el uso de la ciencia con fines ideológicos; en este caso las participantes centraron su análisis en cómo las dinámicas del contexto (como la presión política, la financiación y la necesidad de prestigio) moldean el desarrollo científico. Es decir, mientras G1 pone el acento en la afectación personal y ética de Einstein, G2 destaca cómo las condiciones estructurales y materiales inciden en la orientación de las investigaciones científicas.

Lo anterior, interpretado desde el foco del pensamiento crítico, muestra un contraste que permite evidenciar dos formas complementarias de analizar la no neutralidad en la ciencia: una enfocada en el sujeto y su compromiso ético, y otra en las condiciones históricas que configuran el entorno de producción del conocimiento. Ambas muestran que los participantes fueron capaces de integrar elementos contextuales e históricos en su reflexión, reconociendo que la ciencia no se produce al margen de la sociedad.

Posteriormente, en los espacios de discusión grupal, caracterizados por el diálogo abierto y el contraste de ideas, se les pidió a los participantes organizar jerárquicamente los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia. Aquí G2 ofrece un ejemplo notable de pensamiento crítico, especialmente en términos de organización, jerarquización de ideas y articulación lógica de relaciones entre conceptos. El grupo inicia su análisis cuestionando lo siguiente, ¿Cuáles son los aspectos [cognitivo epistémicos o socio-institucionales] más influyentes en la construcción y en la validación del conocimiento científico? en el contexto de la discusión propone una distinción analítica clave: “lo que influye en la construcción del conocimiento puede no ser lo mismo que lo que influye en su validación” (G2). Esta capacidad para identificar matices conceptuales y generar esquemas diferenciados muestra una comprensión reflexiva que trasciende una respuesta superficial.

A partir de esta distinción inicial, G2 estructura una secuencia argumentativa que parte del contexto social como determinante, luego la observación, seguido por la construcción teórica mediada por la colaboración científica y su posterior validación por parte de la comunidad científica. Esta jerarquía revela una comprensión procesual del conocimiento científico, donde cada etapa se conecta con la anterior de manera coherente y justificada. Además, las participantes reconocen que la ética suele ser considerada

tardíamente en este proceso, lo que evidencia el lugar que ocupan los valores en la práctica científica, para los participantes.

Aunque no se profundiza en el análisis ético, el solo hecho de poner en cuestión su ubicación marginal en la validación del conocimiento, implica una actitud evaluativa frente a los supuestos del quehacer científico. En estos términos, esta intervención no solo demuestra habilidades de organización, sino también una disposición a cuestionar y reconstruir esquemas preestablecidos, lo cual es central en el desarrollo del pensamiento crítico.

Lo anterior, puede interpretarse en la siguiente intervención:

E5: Bueno, pues nosotras entramos en una discusión respecto a cómo en la pregunta dicen, ¿Cuáles son los aspectos [Cognitivo epistémicos o socio-institucionales de la ciencia] más influyentes en la construcción y en la validación del conocimiento? Pues nosotras dijimos: Puede que haya aspectos que sean más influyentes en la construcción y otros que son más influyentes en la validación. Entonces tendríamos dos esquemas diferentes, pero en lugar de eso lo que hicimos fue juntar los esquemas que nos quedaron como esto [Muestra el esquema al investigador, este puede encontrarse en el Anexo 5] Listo. Entonces lo que tenemos es que para empezar la influencia del contexto social es como lo más importante a la hora de construir el conocimiento científico. ¿Por qué? Porque eso influye mucho en la observación que se hace. Ciertamente, entonces dependiendo del pensamiento que yo tengo, del contexto en el que me encuentro, observo las cosas de una determinada manera. Luego, una vez se llega a la observación, pasamos a la experimentación o a la construcción de una teoría científica por medio de eso.

Pero entonces, para construir una teoría científica, normalmente uno busca la colaboración, la aprobación, la validación de otros científicos durante esta construcción. ¿Ciertamente? De la teoría. Una vez validada, se crean leyes, se crean modelos y se presentan estas leyes, estos modelos a una comunidad en busca de más validación. Entonces, la colaboración entre científicos es un aspecto primordial, es como el primer aspecto a buscar a la hora de validar lo que uno está construyendo. Y finalmente se presenta a una comunidad científica como un segundo aspecto de validación importante a la hora de aceptar ese conocimiento. Finalmente, discutimos mucho respecto a eso, pero dejamos que la ética en la ciencia es como lo último que se tiene en cuenta a la hora de construir o de validar el conocimiento científico. ¿Ciertamente? Como se crean las teorías, se crea todo y luego ahí si uno piensa en cómo esto repercute en la sociedad, si es válido para presentarlo o si es peligroso o si lo que estamos haciendo no está bien es como lo último a tener en cuenta. (G2, GD3).

Por último, en el marco de una práctica dialógica sostenida durante la implementación de la investigación, se les propuso a los participantes que adoptaran una postura crítica frente a las visiones contrapuestas de Einstein y Born (Aspectos cognitivos- epistémicos y socio-

institucionales). En esta parte de la discusión, los participantes no se limitaron a enunciar una preferencia entre los dos enfoques teóricos, sino que elaboraron una justificación que articuló elementos epistémicos y no epistémicos. Señalaron que “en un mundo objetivo, como lo propone Einstein, no había espacio para ver las libres decisiones” (E4). En lo expresado se identifica una tensión interna en la concepción determinista de Einstein, lo que revela una evaluación de los supuestos subyacentes.

Esta lectura no solo se limitó a la comprensión de los textos, sino que avanzó hacia la problematización de sus implicaciones filosóficas y humanas. Frente a ello, los participantes valoraron la apertura del modelo probabilístico de Born, el cual “se ajusta a las realidades” y habilita una concepción más flexible de la agencia individual, con lo cual integraron también consideraciones éticas al análisis de las teorías.

Asimismo, el grupo introdujo una dimensión metacognitiva al reconocer cómo el nivel de formación condiciona las posturas que se asumen frente al conocimiento (Indicador 6). E5 planteó que, en niveles iniciales de formación, el énfasis en la física clásica genera una tendencia hacia la objetividad estricta: “Einstein en la física clásica es como el Dios”, mientras que el acceso a la física moderna y a concepciones más complejas permite elaborar contrastes más conscientes y deliberados (Indicador 2). Esta reflexión no solo da cuenta del proceso progresivo de sofisticación conceptual, sino que señala explícitamente cómo el conocimiento previo y el contexto inciden en las formas de pensar y decidir (Indicador 1), lo cual constituye un signo distintivo del pensamiento crítico. La afirmación “como ya conocemos las dos teorías, entonces ya podemos contrastar y tomar una decisión” refleja con claridad un ejercicio de evaluación informada (Indicador 4), en el que los participantes toman una decisión y asumen una postura deliberada, no como resultado de una autoridad externa, sino a partir del análisis de perspectivas, el reconocimiento de sus propias trayectorias formativas (Indicador 3) y la conciencia del carácter situado de sus interpretaciones (Indicador 5).

Lo aquí planteado se puede interpretar en el siguiente diálogo:

E4: Nosotras discutimos a partir de las dos perspectivas, que, en un mundo objetivo, como lo propone Einstein, no había espacio para ver las libres decisiones, pues si se tuviera el conocimiento necesario se podría predecir las decisiones futuras. Por otro lado, viendo lo que tiene de lado como objetivo Born, sentimos que en el mundo probabilístico sí se da esas opciones y se ajusta a las realidades, un poco también

como ya con más contemporáneos [...] entonces sentimos como que nos inclinamos más por la postura de Born.

Investigador: escuchaba que ustedes mencionaban al interior del grupo de discusión que si estuvieran en niveles iniciales de la carrera profesional tendrían cierta visión de la física más inclinada a la de Einstein. Me llamó la atención que establecieran dicha diferenciación que indica que Born incluye unos aspectos que la perspectiva de Einstein no incluye inicialmente. ¿Qué me pueden decir al respecto?

E4: Digamos que lo veíamos como por el lado de que Einstein, precisamente por ser más objetivo. Se adapta más a los primeros niveles.

E5: Porque en los primeros semestres de la carrera nos enseñan mucho acerca de los postulados de la física clásica, ¿cierto? Y al tener tan claras esas concepciones, el conocimiento que uno tiene influye mucho en las respuestas que daría ante este tipo de actividad. Entonces, por eso pensamos, si esta actividad la hicieran chicos de primeros semestres, como Einstein en la física clásica es como el Dios, en ese momento, no tenemos un conocimiento muy profundo de lo que sea la mecánica cuántica de lo que es la relatividad, o sea, de la física moderna. Entonces, nos embarcamos en lo que conocemos y lo que conocemos es el ser objetivos. En cambio, como nosotros estamos en niveles superiores y ya conocemos un poco acerca de física moderna, entonces tenemos una visión más clara de un contraste entre las dos teorías. Y al contrastarlas, podemos tomar una decisión respecto a esto, una decisión un poco más clara, una decisión un poco más ¿Cómo lo diría yo? Un poco más consciente de qué es lo que estamos haciendo, porque como ya conocemos las dos teorías, entonces ya podemos contrastar y tomar una decisión. En cambio, si no, nos quedaríamos solamente con lo que dice en ese papel [refiriéndose a las lecturas propuestas] (G2, GD4).

Finalmente concluimos que el análisis realizado permite afirmar que, los participantes no solo comprendían los contenidos propuestos, sino que se involucraron activamente en su problematización, evaluación y resignificación. Los contextos de prácticas dialógicas en los debates de Einstein y Born posibilitaron contrastar teorías, identificar tensiones internas, cuestionar supuestos y reconocer cómo sus trayectorias formativas inciden en sus interpretaciones, todas estas características que se asocian con el pensamiento crítico. Estas intervenciones no se limitaron a reproducir conocimientos, sino que avanzaron hacia una apropiación reflexiva, en la que los participantes interpretaron, infirieron, justificaron sus posturas y reconocieron la complejidad de la ciencia como una construcción situada y abierta al debate.

Consecuente con lo anterior, se puede decir que, cuando se habilitan espacios de discusión fundamentada, los participantes pueden desplegar el pensamiento crítico que articula análisis, posicionamiento y toma de decisiones informadas, abriendo posibilidades para una formación más profunda y transformadora en ciencias.

4.3 Las relaciones dialógicas entre Einstein y Born: Una manera de ilustrar el papel de la comunicación en la construcción de explicaciones en ciencias

En esta investigación se concibe el conocimiento científico como una construcción dinámica y social que requiere del intercambio constante de ideas, argumentos, interpretaciones y evidencias entre los miembros de una comunidad científica. En este marco, la comunicación emerge como una habilidad fundamental tanto para el intercambio de ideas sobre ciencias como para los procesos de generación de conocimiento científico, al facilitar que los sujetos expresen sus ideas con claridad, comprendan otras perspectivas y construyan consensos a partir de las relaciones dialógicas. Al respecto Thornhill-Miller et al. (2023) señala que, comunicar implica modificar el contexto epistémico del otro mediante el intercambio de información, lo que requiere no solo competencias lingüísticas, sino también la capacidad de interpretar intenciones y establecer conexiones significativas con los interlocutores e identificar que el lenguaje no solo transmite información literal, sino que también cumple funciones pragmáticas.

En este contexto de significación, se asume que la comunicación implica un uso estratégico del lenguaje para persuadir, explicar, cuestionar y reflexionar colectivamente, habilidad que, según The Partnership for 21st Century Learning (2015), se evidencia cuando los interlocutores articulan ideas en distintos formatos, interpretan significados más allá del lenguaje literal y adaptan sus mensajes con distintos propósitos y audiencias.

Para dar cuenta de la habilidad de la comunicación en la construcción social de explicaciones, se plantearon algunos fragmentos de las comunicaciones entre Einstein y Born, a fin de favorecer la ocurrencia de prácticas discursivas que permitieran evidenciar el papel de la comunicación en la construcción del conocimiento científico.

Para efectos del análisis, se han seleccionado unidades en las que se logra una conexión directa entre el uso del lenguaje y la comprensión de los aspectos histórico-epistemológicos discutidos, lo que permite evidenciar el papel de la comunicación en la construcción del conocimiento científico.

Con el objetivo de dar respuesta a este propósito, se pidió a los participantes que plantearan sus puntos de vista sobre la lectura de los textos de Albert Einstein y Max Born. En el marco de la discusión E1, reconoce que su interpretación inicial era parcial y que fue a

partir del aporte de su compañero que lograron ampliar la lectura del texto. Al respecto se puede decir que, en el debate, E1, ajusta sus marcos de referencia, una vez escucha otras posturas. Esto coincide con la idea de comunicación propuesta por Thornhill-Miller et al. (2023), cuando estos autores afirman que el intercambio de información tiene como propósito modificar el contexto epistémico de los interlocutores.

Además, en esta discusión se pudo evidenciar la escucha activa que tuvo E1 para descifrar significados e intenciones, así como la capacidad de articular ideas en función del contexto, todos estos elementos centrales de la comunicación como habilidad del siglo XXI.

Lo anterior, se puede interpretar cuando E1 expresa:

[...] y que no nos pase cosas, como nos pasó en principio que nos enfocamos solo en una parte y E3 fue el que nos habló de la parte de Einstein. Y ahí fue como, ah okay, espere que él también decía esto y eso hizo darles otra lectura a los textos buscando comprender bien que era lo que se podía comentar. (G1, GD1)

En este contexto de intercambio de ideas la discusión se profundizó cuando se les preguntó a los participantes sobre la relación que podían establecer entre la observación y las teorías (aspecto cognitivo-epistémico). Para el investigador, G1 realiza un ejercicio que implica la corrección y reconstrucción colectiva de los aportes. El hecho de que los participantes intenten precisar quién dijo qué y qué ideas fueron realmente compartidas, pone de manifiesto una escucha activa y la intención de atribuir correctamente los discursos, lo que posiblemente permitió fortalecer el proceso de comprensión conjunta. Además, se observa una dimensión pragmática del lenguaje, donde no solo importa lo que se dice, sino cómo se negocia su significado dentro del grupo. Tal como se evidencia en el siguiente diálogo:

E1: [...] Nos habíamos centrado en eso, en ese momento intervino E3 y nos dijo, “Venga, pero creo que Einstein y Born tienen una diferencia, porque Einstein, “¿Qué era lo que establecía del edificio?”

E3: No sé, eso lo dijo E2

E1: Fue usted [...] (G1, GD1)

Ante el mismo cuestionamiento anterior, E2 menciona lo siguiente:

[...] Con respecto a la pregunta sobre la relación entre observación y teoría, Born nos dice que las leyes de Galileo y Newton se derivaron de observaciones que no pueden enunciarse sin ideas que se encuentran fuera de los límites naturales del pensamiento. Por tanto, son necesarias para describir los fenómenos algunas palabras artificiales o conceptos abstractos [...] entonces, cuando buscamos describir los fenómenos que no aparecen en la vida cotidiana o en nuestro entorno, entonces allí es donde se hace

necesaria esa teoría. Entonces dijimos que realmente la una [Observación] no es viable sin la otra [Teoría]. Y la relación que tienen es bidireccional. (G1, GD1)

En la anterior intervención de E2, se evidencia que los participantes articulan un razonamiento colectivo donde reformulan conceptos, citan autores y reconstruyen argumentos con la intención de clarificar su comprensión del problema. El uso de expresiones como “entonces allí es donde se hace necesaria esa teoría” o “la relación que tienen es bidireccional” muestra que hay un esfuerzo por comunicar de forma precisa y estructurada sus interpretaciones, lo cual se corresponde con las habilidades propias de la comunicación. Cabe señalar que, E2 al parafrasear a Born, se observa una apropiación del contenido que busca posicionar una interpretación compartida con sus compañeros. Así, esta unidad de análisis ilustra una comunicación dialógica donde se intenta construir acuerdos desde distintas voces y perspectivas.

Luego se preguntó: ¿Cómo creen que influyen los instrumentos en la construcción de teorías científicas en la perspectiva de Born? (Aspectos cognitivo-epistémicos). La intervención de E4 da cuenta de una comprensión del conocimiento científico como un proceso dinámico y reconstruible, al mencionar la “reconstrucción de otros instrumentos” con base en aportes previos. Esta visión reconoce que los conocimientos anteriores pueden ser retomados, reinterpretados, modificados o incluso rechazados según las condiciones culturales, sociales, políticas y epistémicas del momento. Esto pone en evidencia que la ciencia no avanza únicamente por acumulación lineal de conocimientos, sino que en los procesos ocurren cambios de marco conceptual, reconfiguraciones de prácticas y negociaciones colectivas; prácticas que solo son posibles gracias al papel de la comunicación como medio para argumentar, debatir, reinterpretar y construir sentido compartido.

En ese marco, E4 reinterpreta los fragmentos y los resignifica en sus propios términos, articulando la idea de que teorías anteriores son recontextualizadas en nuevas propuestas. Esta capacidad para reconstruir sentidos, empleando el lenguaje como herramienta de mediación, revela una competencia comunicativa que va más allá de la repetición: se trata de una operación discursiva en la que se enlazan diferentes momentos del conocimiento científico, haciendo visible su historicidad. Además, el esfuerzo por explicar esta dinámica muestra que la participante adapta su discurso para transmitir ideas complejas a sus interlocutores, poniendo en juego funciones pragmáticas del lenguaje, asociadas a la

explicación, la síntesis y la conexión intertextual. Así, la comunicación aparece como una práctica situada que habilita la construcción colectiva de sentido desde el diálogo con las fuentes, con los otros y consigo misma. Esto puede interpretarse en la siguiente intervención:

E4: En la carta que leímos hoy, se menciona la reconstrucción de otros instrumentos que ya estaban previamente contruidos con base en otros autores. Entonces es necesario pensar que la ciencia se deconstruye y se va contruyendo a medida que se tiene diferentes avances desde posturas anteriores, inclusive en este caso [La carta de Born a Einstein], se mencionaba que han influido diferentes autores para cuantizarlos, logramos interpretar que se estaban llevando elementos de física clásica para probarlos en otras teorías físicas. (G2, GD3)

En el mismo contexto de la discusión, se pregunta, según los fragmentos, ¿qué papel creen que cumple la comunicación en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos cognitivo epistémico y socio-institucionales). La discusión giró en torno a la interacción entre los científicos, destacando cómo el debate y la confrontación de ideas influyen en el desarrollo del conocimiento científico.

En este caso, E1 discute cómo la comunicación entre los científicos cumple una función crucial en la validación y verificación del conocimiento, lo que se corresponde con la idea de comunicación como el intercambio para modificar el contexto epistémico de los demás. La concepción de que la comunicación entre científicos se convierte en una “validación” o “ratificación” de hallazgos refleja el proceso de retroalimentación que se produce en el contexto científico, una característica esencial en la construcción de conocimiento. Además, el diálogo se presenta como una herramienta para “comprobar teorías” y “verificar descubrimientos”, mostrando cómo la comunicación implica la evaluación crítica y el fortalecimiento de las ideas con el otro.

Complementando lo anterior, E1 menciona que las interacciones entre científicos pueden verse afectadas por el prestigio y el desprestigio, introduciendo una dimensión social importante en la comunicación: el intercambio de información se ve afectada por los contextos de poder y las relaciones de autoridad dentro de la comunidad científica, las cuales influyen en la recepción y credibilidad de las ideas.

La comunicación como mecanismo de validación también subraya su dimensión pragmática, ya que no solo se intercambian datos y hechos, sino que las intenciones, creencias y relaciones de los científicos participan activamente en la construcción y evaluación del conocimiento. En este sentido, la comunicación se convierte en un proceso dinámico que no

solo transmite, sino que también transforma las ideas en función de las interacciones y el contexto social en el que se produce.

Lo anterior puede interpretarse en la siguiente intervención de E1:

[...] Con respecto a la pregunta se podía evidenciar que la comunicación que había entre los científicos era como una validación o ratificación hacia los hallazgos que ellos encontraban y también como una verificación, por ejemplo, se comunicaban cosas como ¿a ti como te está dando allá un experimento? o ¿vos qué crees de esto que yo hallé aquí en mi laboratorio? Entonces, nosotros lo simplificamos y dijimos que la comunicación es necesaria para la verificación o validación entre científicos, también hablamos de casos donde se filtraba cierto conocimiento o donde a lo mejor la comunicación no era directamente con un amigo, sino con otro científico que estaba tratando el mismo fenómeno. También hablamos de que la comunicación si bien tenía un papel para comprobar teorías y verificar descubrimientos para el fortalecimiento de las teorías o el conocimiento que estaba desarrollando los científicos, también tenía el papel de invalidar. Debido a desacuerdos sobre lo que pensaban de los fenómenos o también el prestigio y el desprestigio que tuviera un científico con el otro. (G1, GD1)

En lo anterior, cabe señalar, además, que E1 destaca que la comunicación entre científicos no solo tiene la función de informar, sino que también permite la validación y verificación de hallazgos, aspecto fundamental en el desarrollo del conocimiento científico. En este sentido, la comunicación implica articular ideas en distintos formatos, interpretar significados más allá del lenguaje literal y adaptar mensajes con distintos propósitos y audiencias. Esto refuerza la idea de que el conocimiento no es un producto individual, sino el resultado de un proceso colectivo donde cada aporte contribuye a una comprensión más profunda y rigurosa.

En el marco de la discusión y a fin de seguir explorando sobre el papel de la comunicación en la construcción de conocimiento, también se indaga si la personalidad y las creencias de Einstein y Born influyeron en su interpretación de la realidad y en la construcción de sus teorías (Aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales). En esta discusión se pone en evidencia cómo la comunicación en la ciencia no es neutral, sino que está profundamente mediada por aspectos individuales como el carácter, la autoconfianza, el temor al juicio o la disposición a ser validado por otros. Esto permite ver que la comunicación, más allá de ser un aspecto técnico, implica habilidades pragmáticas y sociales, ejemplificando, el uso adecuado del lenguaje en contexto, así como la capacidad de leer intenciones, anticipar reacciones y posicionarse dentro de una comunidad.

La idea de que algunos científicos decidieron no publicar por miedo o por experiencias previas de invalidación apunta a que la comunicación en la ciencia está atravesada por relaciones de poder, credibilidad y reconocimiento, donde no siempre priman los datos facticos, sino que también prima la condición humana: quién lo dice y en qué condiciones lo dice. Aquí se evidencia que comunicar no es solo exponer información, sino también tomar decisiones estratégicas sobre qué decir, cuándo, cómo y a quién.

En este contexto, la intervención de E1, también pone en consideración la dimensión ética de la comunicación, en tanto que el silencio o la visibilización selectiva de ciertos aportes puede moldear la historia misma del conocimiento científico.

Lo anterior se puede interpretar en la siguiente unidad de análisis:

E1: [...] hablamos en este punto que sí o sí la personalidad de uno siempre va a demarcar el cómo uno interpreta las cosas cómo las da a enseñar o si las da a enseñar, porque por ejemplo, creo que en la física y en la matemática pasa mucho que cuando un experimento, una ley o algo se le atribuye únicamente a alguien, después uno se da cuenta que a lo mejor dicha persona no fue quien lo hizo, es decir, él [científico] simplemente lo planteó, pero antes de él ya había otra gente que lo había dicho, pero que simplemente no lo había publicado ya fuera por miedo, porque otros se lo habían invalidado en ese momento, entonces creemos que la personalidad como tal sí influye demasiado en cómo ellos desarrollan sus trabajos. (G1, GD1)

Para dinamizar la práctica dialógica, se preguntó sobre: ¿Qué incidencias consideran que tuvieron las creencias personales y éticas de Einstein y Born en su interpretación de las teorías físicas? En la intervención de E4, se evidencia una reflexión crítica acerca de cómo la dimensión ética en la comunidad científica puede incidir en la delimitación y parcialización del conocimiento. El participante problematiza la exclusión implícita de ciertos grupos sociales cuando se refiere a “los comunes y corrientes” o “la plebe”, cuyas contribuciones, aunque potencialmente valiosas, son desestimadas por consideraciones normativas y jerárquicas dentro del campo científico.

Este reconocimiento apunta a una comprensión de la comunicación que va más allá de la transmisión formal de ideas y se centra en los mecanismos de legitimación y exclusión que condicionan qué teorías se aceptan y cuáles se marginan. La mención explícita a la crítica contenida en las cartas, que califica ciertas posturas como “una basura” subraya la dimensión pragmática y discursiva de la comunicación, donde los juicios de valor y las posturas éticas

actúan como filtros que configuran el contexto epistémico y, por ende, la construcción del conocimiento.

Por su parte, E4 en su intervención pone en evidencia cómo las dinámicas sociales y éticas, en las prácticas científicas, influyen en la formación y circulación de teorías, mostrando la comunicación como un proceso situado, cargado de poder y negociación, que incide tanto en la inclusión de voces como en la definición del saber legítimo que circula en una comunidad científica.

Además, cuando E4 expresa “nosotros estamos de acuerdo con lo que ellos mencionan [G1]”, pareciera ser una manifestación del carácter dialógico de la comunicación. Al validar públicamente la contribución del otro grupo (G1), E4 muestra que el conocimiento no se construye de forma aislada, sino que se enriquece a partir del intercambio respetuoso de ideas. Este tipo de gesto discursivo, que da lugar al pensamiento del otro dentro de la propia argumentación, refleja una apertura epistémica fundamental para la construcción colectiva de sentido.

Estos análisis pueden interpretarse en la siguiente intervención de E4:

Nosotras estamos de acuerdo con lo que ellos mencionan [G1], lo que respondimos a la pregunta sobre la incidencia de las creencias personales en las teorías físicas, es que digamos que las creencias personales parcializan la visión de las teorías. Por ejemplo, aquí conversábamos que en las cartas se menciona inclusive cuestiones de ética, esto nos lleva a pensar en que había una comunidad donde estaban los comunes y corrientes. Entonces, digamos que Einstein y Born hacían parte de círculos diferentes que no eran parte de lo común y corriente, por así decirlo. Esto es algo que se ve reflejado en muchos contextos históricos y es que muchas veces algunos hacían parte de la plebe, a pesar de que tenían teorías muy buenas, pero en la comunidad científica ya se tenía cierta disposición a escuchar únicamente a los que ellos consideraran que podían tener argumentos buenos, inclusive en la carta por ahí mencionan que Born considera ciertas posturas como una basura o cosas así. Entonces, sentimos que el aspecto ético parcializa mucho a las teorías porque se predispone o se sesga los aportes de otras comunidades que no hacían parte de los que ellos consideraban aptos para hacer aportes científicos. (G2, GD3)

Continuando con la discusión, se invitó a los participantes a reflexionar sobre el papel de la comunicación en construcción del conocimiento científico (Aspectos socio-institucionales), tomando como ejemplo las cartas que Einstein le escribía a Born.

En el debate sobre el papel de la comunicación en la construcción del conocimiento científico, los participantes señalan que la construcción, discusión y deconstrucción de

teorías científicas ocurre a través de la confrontación de opiniones en la comunidad científica, lo cual se corresponde con lo planteado por Thornhill-Miller et al. (2023), al considerar que la comunicación implica modificar el contexto epistémico del otro mediante el diálogo.

En particular, llama la atención la intervención de E5, quien sugiere una prioridad de la comunicación oral a la escrita, como medio originario para transmitir conocimientos. Esta postura rescata el papel de la oralidad para compartir, preservar y transformar el conocimiento, destacando que muchos saberes científicos se sostuvieron históricamente gracias a prácticas comunicativas propias de contextos culturales específicos. Así, se reconoce el valor de la comunicación oral como pilar que permite la continuidad del conocimiento científico y su permanencia en el tiempo. Tal como se puede ver en las siguientes intervenciones:

E4: Dijimos que la comunicación es un pilar que cumple el papel de construir, discutir y deconstruir las teorías por medio de la construcción de las diferentes opiniones en la comunidad científica. Y además esa confrontación de opiniones sirve para tener un registro de las teorías que se tienen hasta ahora. Pues, por ejemplo, las cartas y las diferentes discusiones que se tuvieron en ese contexto histórico son cosas que todavía hoy en día suscitamos y es gracias a las comunicaciones que tuvieron entre los científicos que se tiene como ese registro.

Investigador: Entonces, ¿para la ciencia son importante los procesos de comunicación?

E5: Sí, porque es una manera de mantener la ciencia a lo largo de la historia. Porque los primeros conocimientos no se transmitieron por medio de papel ni nada, sino por medio de la oratoria. Entonces, los conocimientos cotidianos que posteriormente se fueron construyendo y se volvieron conocimientos científicos y teorías, se van manteniendo a lo largo de la historia por medio de la comunicación. Ya posteriormente es que tuvimos esos instrumentos para llevar un registro escrito y todo el cuento, pero el principal conducto para esto fue la comunicación oral y es una comunicación muy natural de las cosas, ¿cierto? (G2, GD2)

Por su parte, E2 expresa que:

Ante la pregunta del papel de la comunicación dijimos que en este caso específico las cartas, cumplen un papel relevante para la construcción del conocimiento, ya que ese tipo de comunicación permite la discusión, intercambio de ideas, competencia e incluso alianza. Entonces esto se puede poner a disposición de la construcción del conocimiento científico. (G1, GD2)

Mientras que E5, hacía el énfasis en el papel fundacional de la comunicación oral para la transmisión y conservación del conocimiento científico, E2 lo centra en la comunicación escrita (las cartas), destacando su función en la construcción del conocimiento

científico. Se reconoce que este medio posibilita no solo el intercambio de ideas, sino también la confrontación entre científicos.

A diferencia del énfasis en la oralidad como canal primario, E2 valora la escritura epistolar como una vía formal y estructurada para el desarrollo del conocimiento, evidenciando una comprensión de la comunicación orientada hacia los procesos de construcción colectiva. Este contraste permite observar cómo los participantes reconocen distintos registros comunicativos como aspectos fundamentales en la historia de la ciencia, resaltando que tanto la oralidad como la escritura, en sus formas situadas, han jugado roles distintos pero complementarios en la consolidación del conocimiento científico.

En el marco de la discusión también se preguntó por: ¿Consideran que las maneras en que los científicos abordan las diferencias y establecen confianza, es decir, la forma en que gestionan sus relaciones interpersonales y las tensiones profesionales, son un aspecto fundamental en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos socio-institucionales).

En la discusión E1 reconoce la diferencia de enfoque entre su postura inicial y la de E2, señalando cómo este último logra matizar y cuestionar su punto de vista. Este ejercicio no se redujo a un simple desacuerdo, sino que implicó un esfuerzo por comprender las intenciones y la lógica del otro. En la discusión se muestra que E1 reconsidera su posición de acuerdo con las sugerencias de su compañero, mostrando, así como la comunicación puede servir para persuadir sin imponer y, en consecuencia, construir sentido compartido.

Además, se observa cómo E1 articula sus pensamientos no solo para transmitir información, sino también para explicar el proceso de negociación de significados. En este intercambio se movilizaron habilidades de escucha activa, de adaptación del discurso y de comprensión de la perspectiva ajena. En este sentido, la comunicación no es solo el medio, sino también un asunto pragmático que depende del lugar donde ocurre la transformación del pensamiento propio y colectivo.

Estas consideraciones se pueden interpretar en la intervención de E1, cuando expresa:

Yo lo pensé de manera general y E2 lo está pensando muy específicamente en esas relaciones, entonces quizás por ahí fue que nos distanciamos porque los dos sí veíamos la importancia, pero yo la veía en todo y él me decía es que, si es importante, pero yo no diría que fuera lo más fundamental. Hasta que [...] (G1, GD2)

Para dar fuerza a la idea anterior, se les pidió a los participantes, que organizaran en orden jerárquico una lista de aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia según su relevancia.

Es importante señalar aquí que los grupos organizaron jerárquicamente distintos aspectos involucrados en la construcción del conocimiento científico. Mientras que G1 priorizó la observación y la experimentación como punto de partida, seguida por teoría, modelo, generalización, ley, colaboración, ética y, finalmente, el contexto social, G2 propuso una secuencia distinta: partiendo del contexto social, pasando por la observación, la construcción teórica, la colaboración científica y la validación por parte de la comunidad, reconociendo además que la ética suele entrar en juego tardíamente. En ese marco, E1(miembro de G1) reconoce la intervención de G2 y, a partir de esta, reconfigura su propia postura inicial. E1 no solo reconoce la validez del argumento ajeno, sino que reposiciona su postura inicial al declarar estar de acuerdo con las ideas de G2 cuando enuncia “ahora estaría más de acuerdo con el de las chicas”.

Este acto discursivo refleja una disposición epistémica hacia la escucha activa y la incorporación reflexiva de nuevos elementos en la elaboración conceptual propia. La expresión “esto es lo mismo que nos viene enseñando las cartas” no solo legitima la perspectiva de sus interlocutores, sino que remite al marco común de referencia (el debate entre Einstein y Born) como punto de anclaje interpretativo, lo que sugiere una conciencia del contexto discursivo que supera lo interpersonal y se anuda con el contenido científico y epistémico trabajado.

Además, E1 articula una síntesis argumentativa en la que integra componentes empíricos, históricos y éticos, demostrando cómo el discurso puede operar como herramienta para organizar y clarificar el pensamiento propio en diálogo con el otro. Desde la perspectiva de Thornhill-Miller et al. (2023), esto evidencia una forma de comunicación que modifica el contexto epistémico del interlocutor, pero también del hablante, al movilizar el lenguaje como dispositivo para renegociar significados y asumir públicamente la modificación del propio punto de vista. Lo anterior puede interpretarse en la siguiente unidad de análisis:

E1: Pues, ahora estaría más de acuerdo con el de las chicas porque yo también [...] Pero yo llegaba a la misma conclusión que ellas. Es que por más organización empírica que uno les dé a los aspectos científicos, siempre lo que va a marcar la

construcción y cómo se desarrolla es el contexto histórico social. Esto es lo mismo que nos viene enseñando las cartas. Es tanto la influencia del contexto social como la ética del científico, lo que va a marcar cómo él va a construir y desarrollar dicha teoría o experimento. Entonces, en esa parte estaría más al lado de ellas, porque siento que uno siempre va a estar primero atravesado por el contexto que por la sistematización del desarrollo científico. (G1, GD3)

Complementario a la situación anterior, en medio de las discusiones generadas por el análisis de las cartas entre Einstein y Born, se propició un escenario para discutir sobre la influencia de la condición humana en la construcción del conocimiento científico. Al respecto se planteó la pregunta: ¿Consideran ustedes que la condición humana (credibilidad, confianza, respeto, autoridad y valores éticos) incidió en la construcción del conocimiento científico planteado por Einstein? (Aspectos socio-institucionales).

Aquí el investigador intenta identificar una doble función de la comunicación: por un lado, el contenido referido al papel de la comunicación en la ciencia, y por otro, la forma en que las participantes están comunicando sus ideas durante el diálogo, aspecto central en este análisis. En cuanto al primer aspecto, E4 reconoce que Einstein, a través de sus cartas, no solo expresa posturas científicas, sino también convicciones éticas, y que dichas convicciones requieren ser defendidas con firmeza en contextos sociales adversos. De este modo, la comunicación aparece no solo como intercambio epistémico, sino como un acto de posicionamiento frente a la comunidad y la sociedad, donde influyen factores como la credibilidad, el respeto y la autoridad científica.

Ahora bien, en el plano de la interacción, la manera en que E4 comunica sus ideas también ofrece elementos significativos: se observa un esfuerzo por argumentar, recuperar ideas complejas del texto leído, reformularlas con sus propias palabras y conectarlas con dimensiones sociales y éticas de la ciencia que son producto de la relación entre el texto leído y sus procesos de formación. Aunque hay vacilaciones y repeticiones, estas no deben entenderse como fallas, sino como parte de un proceso auténtico de construcción del discurso en el que el participante está interpretando activamente. Esta dinámica da cuenta de que la comunicación no solo se trata de transmitir información, sino de producir sentido, articular conceptos y buscar consensos o comprensiones compartidas, lo que pone en evidencia el carácter dialógico, situado y reflexivo de la comunicación.

Estas consideraciones emergen del análisis del siguiente diálogo:

E4: Consideramos que la condición humana sí influye en la construcción del conocimiento científico planteado por Einstein porque el mismo en su carta señala y es consciente de la de la dificultad que conlleva defender sus convicciones y su postura ética ante la sociedad. O sea, él [Einstein] en la carta propone que se debe de tener un coraje para defender con firmeza esas convicciones que se tienen para defender cierta teoría. Entonces él en la carta es consciente de los retos que se deben asumir a nivel social. Y pues en todos estos factores que mencionan ahí, además, en la credibilidad, la confianza, el respeto, la autoridad y los valores éticos. Einstein menciona que es retador mencionar un hallazgo que sea disruptivo a nivel histórico y pues en el contexto científico. (G2, GD2)

Por su parte E1 expresa que:

[...] E2 y yo nos diferenciamos en cuanto a ideas, porque interpretamos distinto el concepto de la condición humana. Pero luego hablando y comentando aspectos y yéndonos al párrafo tres de la carta de Einstein, si no estoy mal, en el párrafo tres del texto habla de los científicos y no habla de la capacidad de su razonamiento, sino de la dimensión humana, ejemplificando esto con el caso de Laue de cómo este pudo salir de las tradiciones del rebaño [Comunidad Científica] y tomar una influencia en el sentido de la justicia. Entonces [...]. (G1, GD2)

Se puede ver en la intervención anterior que la comunicación no solo facilita el intercambio de ideas, sino que también posibilita procesos de negociación conceptual cuando surgen tensiones en la interpretación. E1 reconoce una divergencia inicial respecto a la comprensión de la “condición humana”. No obstante, lejos de convertirse en un obstáculo, esta disonancia impulsa un proceso comunicativo donde las ideas se ponen en común, se contrastan y se reformulan en el grupo. Aquí, la habilidad de expresar de forma clara lo que se entendió, así como de escuchar y retomar el texto para encontrar puntos de encuentro, resulta fundamental.

El hecho de que el participante mencione explícitamente la búsqueda de respaldo en un fragmento específico del texto “si no estoy mal, en el párrafo tres” también revela el uso de estrategias comunicativas orientadas a sustentar y clarificar sus ideas. Este recurso no solo fortalece la comprensión compartida, sino que permite que la conversación avance desde un terreno común, promoviendo la coherencia y la conexión entre los interlocutores. Además, al rescatar una idea central del texto (la dimensión humana por encima de la capacidad racional), E1 está comunicando un juicio crítico que busca ir más allá de una interpretación superficial, lo cual habla de una comunicación orientada a motivar una reflexión colectiva. En conjunto, la unidad de análisis pone en juego capacidades para articular ideas propias,

escuchar activamente y vincular el discurso individual con el texto y con la interpretación del grupo.

En suma, aquí podemos decir que, la comunicación no solo permitió visibilizar el papel que cumple esta dimensión en la dinámica propia de la ciencia, sino también en la forma en que los participantes de la investigación construyen, articulan y expresan sus ideas. A través del lenguaje, los participantes no solo transmiten contenidos, sino que negocian sentidos, interpretan perspectivas ajenas y reconfiguran sus propias posturas. La comunicación se revela, así como una práctica situada que atraviesa lo epistémico y lo social, en la que el decir no se limita a informar, sino que transforma, vincula y posibilita la construcción colectiva del conocimiento.

4.4 Dimensiones Cognitivo-epistémicas y Socio-institucionales de la Ciencia en los discursos sobre el debate entre Einstein y Born

En las categorías anteriores, centradas en la colaboración, el pensamiento crítico y la comunicación, el lector puede advertir cómo emergen de manera entrelazada tanto aspectos cognitivo-epistémicos como socio-institucionales de la ciencia. Esto evidencia que, aunque el investigador haya procurado una separación metodológica entre estos planos, dicha distinción es, en muchos sentidos, artificial. A lo largo del análisis, se pone de manifiesto una conexión recíproca entre el análisis histórico-epistemológico de Einstein y Born y la emergencia de habilidades del siglo XXI, lo que refuerza la idea de que la ciencia no puede entenderse únicamente como un sistema cognitivo-epistémico, sino también como una práctica situada en marcos socio-institucionales concretos. Esta categoría busca precisamente dar cuenta de esa doble dimensión de la ciencia: como una forma de producción de conocimiento y como una actividad humana profundamente mediada por estructuras sociales, políticas y económicas.

Para dar cuenta de los aspectos cognitivo- epistémicos y socio-institucionales de la ciencia, en el contexto de las prácticas dialógicas se planteó a los participantes el siguiente interrogante: Según los fragmentos ¿Qué relación se puede establecer entre la observación y las teorías? (Aspectos cognitivo- epistémicos). En esta discusión, E2 resaltó que Einstein y Born siguen rutas distintas en la construcción del conocimiento científico, anotan que para Einstein las experiencias sensoriales son fundamentales en la estructuración del

conocimiento, y que, a partir de ellas, mediante intuición, se forman conceptos primarios. Además, dice que la relación lógica entre nociones abstractas y conceptos primarios permiten hablar de la realidad física.

Por otro lado, en la interpretación de Born, E2 destaca que no toda observación es directa ni suficiente por sí sola y que, se requieren conceptos abstractos o dispositivos para interpretar lo que no es evidente en la experiencia cotidiana. Al respecto, reconoce que en algunos casos la teoría tiene un papel clave para dotar de sentido a la observación, especialmente en contextos no accesibles directamente (como lo atómico o lo astronómico).

Sobre la observación, conviene resaltar que en esta investigación se entiende como un proceso que no se limita a lo que se percibe directamente con los sentidos, sino que incluye también los fenómenos detectables mediante instrumentos tecnológicos, los cuales amplían considerablemente las capacidades humanas de detección (Irzik y Nola, 2023). En este sentido, resulta apropiado afirmar que la experiencia sensorial es solo una parte del proceso de observación, que, como señalan estos autores, va más allá de lo perceptible por los sentidos e involucra, por ejemplo, datos obtenidos por satélites o sensores, como ocurre con fenómenos que no pueden ser observados directamente por el ser humano.

En la intervención de E2, se aprecia una comprensión inicial sobre la relación entre observación y teoría en el proceso de construcción del conocimiento científico. El participante señala que existe una relación bidireccional entre estos dos elementos, lo que sugiere una intención por reconocer la influencia mutua entre estos dos aspectos. Cabe señalar que, aunque E2 reconoce que ni la observación ni la teoría por sí solas son suficientes para construir conocimiento científico, su argumentación no explicita con claridad el papel mediador de la inferencia ni el de los marcos teóricos en la interpretación de los datos. La intervención tiende a presentar la observación como un proceso fundamentalmente descriptivo, sin poner en cuestión su carácter teóricamente cargado ni su dependencia de instrumentos, modelos o intereses científicos que orientan lo que se observa y cómo se interpreta.

Al mismo tiempo, E2 en su intervención no establece una distinción explícita entre los términos observación y experiencia sensorial, lo que da lugar a un uso cercano entre ambos conceptos dentro de su argumentación. Esto sugiere que E2 entiende la observación

como una actividad ligada a los sentidos, sin hacer referencia directa al papel que juegan los instrumentos, los marcos teóricos o los procedimientos metodológicos en su configuración dentro de la práctica científica

Lo anterior corresponde a la interpretación de la siguiente intervención de E2:

Sí. Einstein y Born establecen rutas diferentes entre la observación y la creación de teorías. Encontramos que más o menos la ruta de Einstein era que primero había unas experiencias sensoriales y a partir de estas experiencias con ayuda de la intuición se hallan unos conceptos primarios. Luego, están las nociones que surgen desde el punto de vista físico como ideas de la naturaleza del pensamiento. Estas nociones pueden conectarse a través de proposiciones, lo que permite establecer relaciones lógicas entre ellas. Luego, esas proposiciones pueden vincularse con conceptos primarios, que según nuestra interpretación corresponden a las experiencias sensoriales. Estas experiencias, a su vez, se definen a partir de la realidad o de la naturaleza que se percibe en ellas. En síntesis, desde la perspectiva de Einstein, entendemos que el proceso ocurre de la siguiente manera: a partir de la observación, es decir, de la experiencia sensorial se extraen los conceptos primarios. Luego, las nociones físicas pueden vincularse con esos conceptos mediante proposiciones lógicas. Es en ese punto donde se formulan las afirmaciones sobre la realidad o las leyes de la naturaleza. Sin embargo, todo parte fundamentalmente de las experiencias sensoriales. [...] Born nos dice que las leyes de Galileo y Newton se derivaron de observaciones que no pueden enunciarse sin ideas que se encuentran fuera de los límites naturales del pensamiento. Por tanto, son necesarias para describir los fenómenos algunas palabras artificiales o conceptos abstractos. Entonces y teniendo claro que no todo se puede observar tan fácil, sino que a veces hace falta dispositivos amplificadores. Y en esos casos, la observación no es tan clara allí, de hecho, es incomprensible si no hay una teoría que ayude a interpretarla o un concepto abstracto, [...] cuando buscamos describir los fenómenos que no aparecen en la vida cotidiana o en nuestro entorno, entonces allí es donde se hace necesaria esa teoría. Entonces dijimos que realmente la una [Observación] no es viable sin la otra [Teoría]. Y la relación que tienen es bidireccional. (G1, GD1)

A partir del cuestionamiento inicial sobre la relación entre observación y teoría, en la discusión grupal surgió una reflexión espontánea sobre la diferencia entre ley y teoría (Aspectos cognitivo-epistémicos). Sobre este particular E3 expresa:

Ah, no, pues yo lo que decía ahí era que la construcción de una ley era casi que el proceso inverso de un axioma. Es decir, un axioma uno lo pone al principio de todo y sigue con él hasta el final. En cambio, la ley se construye con base en esas experiencias sensoriales primarias que no se podían refutar. Es decir, se hace toda una construcción lógica ligando estos conceptos primarios de forma directa e indirecta hasta que se llega a la ley o a la teoría. Einstein también, decía que no había una forma muy segura de decirlo, dado que esta dependía de la persona, si se llama ley o teoría, pues depende de la construcción que se había hecho. Creo que... Ah, sí. La cuestión

de cuáles proposiciones debe considerarse como definiciones y como leyes dependerá de la representación elegida. (G1, GD1)

En la intervención, E3 parece establecer una analogía entre el proceso de construcción de una ley científica y el proceso lógico en matemáticas, sugiriendo que la ley se deriva de un proceso “inverso” al de los axiomas. Aquí, el informante intenta dar cuenta de su comprensión sobre la manera como surgen las leyes y el conocimiento científico. En este contexto, parece hacer referencia al método inductivo, en el que las leyes se derivan de la observación y generalización de hechos empíricos, lo cual es una vía comúnmente utilizada en la ciencia.

En las afirmaciones de E3 se advierten ciertas tensiones conceptuales que vale la pena analizar. Por ejemplo, al afirmar que las experiencias sensoriales “no se podían refutar”, se omite que, desde una perspectiva empírica, dichas experiencias pueden ser interpretadas, cuestionadas y reformuladas en función del marco teórico, los instrumentos utilizados o los intereses de investigación. Asimismo, la utilización indistinta de los términos “ley” y “teoría” sugiere que, para el informante, no existe una distinción clara entre estas formas de conocimiento. Esta aproximación puede reflejar una comprensión lineal del quehacer científico, en la que el conocimiento se construye como una secuencia acumulativa. En este sentido, parece asumir que las teorías son meras generalizaciones empíricas, sin atender a su carácter explicativo ni a su papel en la construcción de modelos abstractos

Para dar fuerza a lo propuesto, en los espacios de discusión grupal se les pidió a los participantes organizar jerárquicamente algunos aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia. Para el investigador resulta relevante la organización que propone E5 (miembro de G2) quien propuso una secuencia lineal del quehacer científico que va de la observación a la experimentación, y de allí a la construcción de teorías, leyes y modelos, los cuales serían posteriormente validados por la comunidad científica.

La representación del proceso científico propuesta por E5, pareciera que simplifica la dinámica real del quehacer científico. Desde una mirada cognitivo-epistémica y socio-institucional de la ciencia, no siempre se presenta una secuencia lineal que vaya de la observación a la experimentación, ni esta se traduce necesariamente en la formulación de teorías. Más bien, estas actividades pueden ocurrir de manera interdependiente, cíclica o incluso simultánea, dependiendo del problema investigado y del enfoque adoptado. En esta

misma línea, la agrupación de teoría, ley y modelo como momentos consecutivos dentro de un mismo proceso parece apoyarse en una noción general de “conocimiento científico”, sin distinguir las funciones particulares de cada uno. Mientras que las teorías buscan explicar fenómenos mediante construcciones abstractas, las leyes formulan regularidades observables y los modelos ofrecen representaciones parciales que median entre teoría y fenómeno. Estas distinciones no siempre aparecen claramente delimitadas en el discurso de E5, lo que sugiere una concepción integradora, pero poco diferenciada de estas nociones.

Todo lo anterior puede evidenciarse en la intervención de E5:

[...] Luego, una vez se llega a la observación, pasamos a la experimentación o a la construcción de una teoría científica por medio de eso. Pero entonces, para construir una teoría científica, normalmente uno busca la colaboración, la aprobación, la validación de otros científicos durante esta construcción. ¿Cierto? De la teoría. Una vez validada, se crean leyes, se crean modelos y se presentan estas leyes, estos modelos a una comunidad en busca de más validación. (G2, GD3)

Ante el mismo ejercicio de organización E3 realiza la siguiente intervención:

Para nosotros, la observación y la experimentación deberían ubicarse en el primer lugar del proceso científico; considero que ambas van juntas, no una antes de la otra. Luego, aparecería la teoría científica, y con base en ella se construiría el modelo. Después de un tiempo, al empezar a generarse generalizaciones, surgiría la ley. También incluí que tanto la colaboración entre científicos como la ética son aspectos que deben considerarse a continuación en el orden de importancia. Ambos tienen el mismo nivel de relevancia para mí. Finalmente, ubicaría el contexto social y la comunidad científica. (G1, GD3)

En las intervenciones de E3 y de E5, se evidencia una representación del proceso científico como una secuencia lógica y jerárquica: observación y experimentación aparecen como punto de partida, seguidas por la teoría, la construcción de modelos y, finalmente, la formulación de leyes. Esta organización pareciera reflejar una comprensión cognitivo-epistémica de tipo inductivo y acumulativo, en la que los productos del conocimiento científico se construyen de manera lineal a partir de la experiencia. No obstante, los elementos socio-institucionales como la colaboración, la ética, el contexto social y la comunidad científica, aunque son reconocidos como relevantes, se sitúan en un plano secundario, como factores posteriores al desarrollo epistémico. Esta separación sugiere una visión tradicional de la ciencia, en la que los aspectos sociales no son constitutivos del conocimiento sino más bien accesorios. La intervención de E3 permite identificar una frontera entre lo epistémico y lo social que, aunque intenta integrar elementos socio-

institucionales para reconocer la ciencia como una práctica situada, dialógica y discursiva, aún mantiene una orientación que privilegia los aspectos cognitivo-epistémicos en la estructuración del conocimiento científico.

A fin de seguir identificando, en los discursos de los participantes, los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en la construcción del conocimiento científico, se indagó por ¿Cómo creen que influyen la intuición y la experiencia sensorial en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos cognitivo- epistémicos). En esta discusión, E3, apoyándose en la lectura, sugiere que las experiencias sensoriales pueden constituir un punto de partida para comenzar a “teorizar”, lo cual posiciona a la percepción como un insumo inicial en la formulación de teorías. No obstante, también reconoce que la teoría cumple una función interpretativa frente a fenómenos complejos y que en ella se producen “palabras artificiales” y “conceptos”. Esta segunda afirmación da cuenta de una comprensión en la que el conocimiento científico no se deriva directamente del mundo empírico, sino que se construye mediante representaciones mediadas por marcos teóricos y modelos. Así, en su intervención coexisten dos perspectivas: una que destaca el rol fundacional de la experiencia sensorial, y otra que resalta el carácter constructivo y representacional del conocimiento científico.

Otro aspecto en la intervención de E3, es la noción de que los conceptos científicos deben ser contruidos por los seres humanos para compensar sus limitaciones de percepción. La referencia que hace del electromagnetismo ilustra cómo la ciencia desarrolla no solo ideas, sino también instrumentos que extienden la capacidad humana de observación. Este reconocimiento del papel de los aparatos y conceptos en la construcción del conocimiento se corresponde con la idea de que la ciencia es una práctica teórica, experimental y también tecnológica.

Las ideas anteriores permiten problematizar el concepto de experimentación en la ciencia cuando E3 hace referencia a los instrumentos, está apuntando también a la dimensión experimental. En el ámbito de la física y disciplinas afines, el experimento consiste en una intervención deliberada sobre la naturaleza mediante el uso de instrumentos con el propósito de modificar o aislar un fenómeno. Este tipo de intervención se realiza en condiciones

artificiales, cuidadosamente diseñadas y controladas, lo cual permite observar con precisión los efectos que se producen (Irzik y Nola, 2023).

Además, es preciso considerar que la experimentación no cumple una única función dentro de la investigación científica. Aunque suele afirmarse que los experimentos se realizan para comprobar teorías, también pueden orientarse a la medición de constantes físicas, a la exploración de fenómenos poco comprendidos, o incluso a la formulación de nuevos conceptos que reestructuren campos enteros de investigación (Feest y Steinle, 2016). Desde esta perspectiva, el señalamiento de E3 sobre la necesidad de construir aparatos e ideas para interpretar fenómenos que exceden la experiencia sensorial directa puede interpretarse como un intento por articular la observación, teoría y experimentación. Al respecto E3, expresa:

Yo lo entendí como un primer paso: a partir de la experiencia sensorial, Einstein podía comenzar a construir una teoría. Es justamente con esa teoría que él logra interpretar fenómenos complejos, que de otro modo no podrían comprenderse. A través de ella crea conceptos y palabras artificiales que le permiten explicar lo que está ocurriendo. De lo contrario, no sería posible. Aquí yo haría una relación con algo que nos mencionó un profesor nuestro: en el caso del electromagnetismo, los seres humanos no tienen una capacidad natural para percibir la electricidad, a diferencia de otros animales. Por eso, se vuelve necesario construir conceptos y también aparatos que sean coherentes con esos conceptos, como una forma de compensar esa carencia. (G1, GD1)

Para ampliar este punto, cuando la discusión se centró en el papel de los instrumentos en la construcción del conocimiento científico (aspecto cognitivo-epistémico), pudo evidenciarse que E5, ofrece una comprensión del trabajo científico que se distancia de una visión empírica centrada en la simple observación de la naturaleza. Al hablar de “forzar los fenómenos”, la participante introduce una noción clave en la epistemología de la ciencia: la idea de que los fenómenos no siempre están dados de manera inmediata en la experiencia, sino que deben ser producidos mediante intervenciones controladas, muchas veces guiadas por supuestos teóricos previos. La alusión a instrumentos como dispositivos para generar o amplificar estos fenómenos muestra una concepción de la práctica científica, donde la observación está mediada técnica y conceptualmente.

Además, E5 reconoce que, en campos como el electromagnetismo o la física cuántica, los fenómenos no son visibles ni accesibles directamente, lo que obliga a la comunidad científica a diseñar situaciones experimentales que los hagan “emergentes” dentro de un marco conceptual. En este sentido, se pone en discusión la idea de que la experimentación y

la teoría son complementarios en la producción del conocimiento. Por tanto, se identifica una comprensión del trabajo experimental en ciencia, donde los fenómenos no son hechos brutos que simplemente se observan, sino realidades construidas en contextos, mediante artefactos, teorías e intenciones. Lo anterior puede evidenciarse en la siguiente unidad de análisis de E5:

Porque hay cosas que no podemos ver fácilmente con solo observar en la naturaleza. Para estudiar los fenómenos, uno necesita forzarlos a que ocurran. Para estudiar un fenómeno, por ejemplo, hablábamos en electromagnetismo. Por ejemplo, tú quieres estudiar cómo funcionan los rayos ¿Vas a esperar a que haya una tormenta para poder estudiar los rayos? No, tú creas un instrumento que te permita generarlos y estudiarlos más a fondo. En lugar de esperar cada cuánto va a haber una tormenta para poder estudiarla. Entonces, a eso me refiero con forzarlos. También porque hay fenómenos que son muy difíciles verlos o percibirlos así a simple vista. Por ejemplo, los fenómenos cuánticos hay que forzarlos para poderlos ver. ¿Cierto? Porque tú no te pones a ver la mesa y vas a ver las partículas ahí existiendo, colisionando o cómo sea que existan. Pues es un ejemplo de lo que podría ser. A eso me refiero con forzar el fenómeno. Los instrumentos sirven para eso. (G2, GD3)

Complementario a lo anterior se indagó por el papel que cumple la comunicación en la construcción del conocimiento científico (Aspectos socio-institucionales). En la discusión sobre este aspecto, E1 reconoce que la comunicación entre científicos desempeña un papel crucial en la construcción del conocimiento, señala que no solo facilita la validación de ideas y teorías, sino que también permite el rechazo o cuestionamiento dentro de una comunidad epistémica. Esta perspectiva puede comprenderse a partir de los factores socio-institucionales que atraviesan la práctica científica, como la certificación social y la evaluación crítica entre pares.

Según Irzik y Nola (2023), el conocimiento científico se consolida mediante procesos institucionalizados de revisión y difusión, en los que la aceptación de afirmaciones no depende únicamente de su coherencia lógica o respaldo empírico, sino también de su reconocimiento por parte de la comunidad científica. Además, valores como el prestigio o la reputación del investigador también influyen en la legitimación del conocimiento, como lo sugieren los participantes al señalar el peso que tienen estos factores en la aceptación o el rechazo de ciertos hallazgos. En este sentido, las dinámicas institucionales regulan qué saberes circulan y cuáles se silencian. Todo ello evidencia que la ciencia, además de ser una práctica racional y empírica, está profundamente atravesada por normas éticas, estructuras sociales y limitaciones estructurales (como la censura, las rivalidades o las jerarquías

académicas) que condicionan tanto la circulación como la validación del conocimiento en el seno de la comunidad científica. Lo anterior puede evidenciarse en la siguiente intervención de E1:

[...] la comunicación es necesaria para la verificación o validación entre científicos, también hablamos de casos donde se filtraba cierto conocimiento o donde a lo mejor la comunicación no era directamente con un amigo, sino con otro científico que estaba tratando el mismo fenómeno. También hablamos de que la comunicación si bien tenía un papel para comprobar teorías y verificar descubrimientos para el fortalecimiento de las teorías o el conocimiento que estaba desarrollando los científicos, también tenía el papel de invalidar. Debido a desacuerdos sobre lo que pensaban de los fenómenos o también el prestigio y el desprestigio que tuviera un científico con el otro. (G1, GD1)

Ante la misma pregunta otro miembro del grupo G1, complementa con lo siguiente:

E3: [...] Otro aspecto de la comunicación que hablamos es que algunas personas que seguían defendiendo esa teoría que ya estaba quedando atrás no cambiaron de opinión, de todos modos, su teoría estaba condenada a desaparecer, porque no lograban convencer a nuevos científicos ni atraer a nuevas generaciones. Entonces, creo que lo que Born intentaba era llevar a Einstein hacia su postura, tratar de convencerlo. (G1, GD1)

Esta unidad de análisis permite evidenciar que la consolidación del conocimiento científico no depende exclusivamente de prácticas y métodos cognitivo-epistémicos, sino también de su aceptación dentro de una comunidad regulada por normas sociales e institucionales. La referencia de E3 sobre “llevar a Einstein hacia su postura” ilustra cómo las dinámicas de legitimación científica involucran procesos de persuasión, construcción de consenso y disputa.

Al respecto, Irzik y Nola (2023) plantean que el proceso de certificación social implica no solo la revisión por pares, sino también el sometimiento de las afirmaciones al escrutinio público, lo que requiere que el conocimiento circule, se debata y se valide colectivamente. En este contexto, factores como el prestigio, las alianzas académicas y la reputación del científico inciden en el reconocimiento de una teoría, haciendo visible que la ciencia está atravesada por estructuras de poder y por un ethos normativo que exige honestidad intelectual, apertura crítica y responsabilidad compartida frente al conocimiento que se produce.

Ante la misma pregunta anterior, G2 destaca dos aspectos relevantes para el análisis de la ciencia como práctica humana: por un lado, se reconoce el papel central de la

comunicación en los procesos científicos, especialmente como medio para preservar, debatir y transformar el conocimiento en el tiempo. La estudiante identifica que las cartas y discusiones entre científicos no solo fueron momentos de intercambio, sino instancias constitutivas del conocimiento, lo cual se alinea con la noción de certificación social planteada con anterioridad, en la que el conocimiento científico es evaluado, validado y legitimado colectivamente.

No obstante, la afirmación de que los conocimientos cotidianos “se van volviendo conocimientos científicos” revela cierta tensión en la epistemología de la ciencia. Aunque ambos tipos de conocimiento pueden interactuar, no obedecen a las mismas lógicas. El conocimiento cotidiano se construye en función de la experiencia inmediata, la utilidad práctica y el sentido común; en contraste, el conocimiento científico implica procesos sistemáticos de validación, coherencia teórica, rigor metodológico y reconocimiento dentro de comunidades epistémicas. No existe una transición directa ni automática de uno a otro. Por tanto, si bien es pertinente destacar el carácter humano y comunicativo de la ciencia, también es necesario evitar una visión que naturalice la conversión del saber cotidiano en científico, sin considerar los marcos institucionales, metodológicos y teóricos que median dicha transformación y que permiten su legitimación como conocimiento confiable. Lo anterior se expone en las siguientes intervenciones de G2:

E4: [...] Pues, por ejemplo, las cartas y las diferentes discusiones que se tuvieron en ese contexto histórico son cosas que todavía hoy en día suscitamos y es gracias a las comunicaciones que tuvieron entre los científicos que se tiene como ese registro.

Investigador: Entonces, ¿para la ciencia son importante los procesos de comunicación?

E5: Sí, porque es una manera de mantener la ciencia a lo largo de la historia. Porque los primeros conocimientos no se transmitieron por medio de papel ni nada, sino por medio de la oratoria. Entonces, los conocimientos cotidianos que posteriormente se fueron construyendo y se volvieron conocimientos científicos y teorías [...]. (G2, GD2)

Con respecto a la pregunta: ¿Crees que la personalidad y las creencias de Einstein y Born influyeron en la interpretación de la realidad y en la construcción de sus teorías? ¿Por qué? (Aspectos socio-institucionales y cognitivo epistémicos). En la intervención de G1, se evidencia en el debate un nuevo aspecto en el proceso de construcción del conocimiento: el papel de la subjetividad del científico. Las intervenciones de E1 y E3 subrayan cómo factores personales el carácter, las convicciones, el temor al juicio o incluso la obstinación, los cuales

pueden condicionar tanto la publicación de resultados como la forma en que se interpretan y comunican. Esta perspectiva enriquece el análisis al mostrar que las prácticas científicas no son completamente objetivas ni impersonales, sino que están atravesadas por emociones, autopercepciones y motivaciones individuales. Este análisis revela que la construcción del conocimiento no puede desligarse de las condiciones sociales, institucionales y subjetivas que la hacen posible o la inhiben.

Tal como se ha evidenciado en la siguiente unidad de análisis, factores como la personalidad del científico, la validación por parte de sus pares, la aceptación pública y el prestigio inciden en la circulación y legitimación del conocimiento. Por tanto, la confiabilidad de la ciencia no solo depende de la solidez de sus métodos, sino también de las dinámicas sociales que permiten o restringen el reconocimiento de ciertos discursos dentro de la comunidad científica. Lo anterior puede evidenciarse en el siguiente diálogo:

E1: [...] hablamos en este punto que sí o sí la personalidad de uno siempre va a demarcar el cómo uno interpreta las cosas cómo las da a enseñar o si las da a enseñar, [...] pero que simplemente no lo había publicado ya fuera por miedo, porque otros se lo habían invalidado en ese momento, entonces creemos que la personalidad como tal sí influye demasiado en cómo ellos desarrollan sus trabajos.

E3: Sí, porque también puede por ejemplo estar tan convencido de sí mismo y de sus ideas como para atribuirle un fallo en un experimento que le está contradiciendo a las herramientas que usó. (G1, GD1)

Ante el anterior cuestionamiento E2 tiene la siguiente intervención:

E2: Sí, o sea, realmente ahí el aspecto social y también la personalidad influyen mucho. Si una persona es humilde o no, si está abierta al diálogo o no, eso influye, ¿cierto? Pero también, retomando lo que tú dijiste [E1], pienso que si Einstein, con su forma de pensar y sus creencias, se hubiera propuesto demostrar la teoría cuántica, tal vez lo habría logrado. Entonces, lo que influye es cómo cada uno interpreta y actúa según su propia manera de ver y hacer ciencia. (G1, GD1).

La intervención de E2 permite problematizar la articulación entre las categorías cognitivo-epistémica y socio-institucional en la construcción del conocimiento científico. Su pregunta sobre si Einstein habría logrado algo “de haber intentado demostrar la mecánica cuántica” llama la atención del investigador, ya que parece asumir que las diferencias entre teorías científicas pueden reducirse a cuestiones de voluntad o capacidad individual. Esta interpretación omite las profundas divergencias epistemológicas y ontológicas que subyacen entre la física relativista y la mecánica cuántica. Desde una perspectiva epistémica, Einstein defendía principios como el determinismo, la continuidad del campo y la causalidad local,

mientras que la mecánica cuántica se fundamenta en nociones como la discontinuidad, el indeterminismo y la no-localidad. Estas tensiones no pueden explicarse únicamente en términos personales, pues implican marcos teóricos, metodológicos y filosóficos distintos. Si bien es posible que factores no epistémicos hayan influido en la postura de Einstein, reducir el debate a una cuestión de personalidad invisibiliza el trasfondo teórico y las condiciones socio-institucionales que configuran el desarrollo de las teorías científicas.

Como bien lo muestran Irzik y Nola (2023), las creencias personales, los valores éticos y el contexto institucional también inciden en cómo se produce, se defiende o se rechaza una teoría, pero no pueden eclipsar los criterios epistémicos que definen la coherencia interna, la consistencia empírica y la estructura teórica de una propuesta científica. El cuestionamiento de E2 permite visibilizar que los conflictos entre teorías científicas no solo se explican por diferencias empíricas o técnicas, sino que también están atravesados por posiciones filosóficas, supuestos metodológicos y condiciones personales o sociales. Reconocer esta complejidad es clave para comprender que el desarrollo científico no se limita a la contrastación de datos, sino que involucra marcos teóricos más amplios y debates profundos sobre la naturaleza del conocimiento.

Con la intención de seguir identificando, en los discursos de los participantes, los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en la construcción del conocimiento científico, se indagó por: ¿Consideran que las maneras en que los científicos abordan las diferencias y establecen confianza, es decir, la forma en que gestionan sus relaciones interpersonales y las tensiones profesionales, son un aspecto fundamental en la construcción del conocimiento científico? (Aspectos socio-institucionales). En la discusión sobre esta cuestión E2 planteó cómo las concepciones cotidianas sobre la ciencia y los científicos pueden estar marcadas por una imagen individualista del quehacer científico. Igualmente, E2 reconoció que inicialmente concebía al científico como una figura aislada, cuyo trabajo se evaluaba únicamente por su capacidad para producir “verdades” o resultados replicables, independientemente de su relación con otros científicos. Esta visión refleja una idea en la que el conocimiento se atribuye a genios solitarios, sin considerar las redes de colaboración, discusión y crítica que permiten su desarrollo. Las teorías científicas, lejos de ser producto de individuos aislados, emergen de contextos históricos y colectivos, en los que otros

científicos contribuyen de manera directa o indirecta a su formulación, interpretación y validación.

Así, el reconocimiento de que la confianza, el trabajo en equipo y las relaciones interpersonales son condiciones que influyen en el destino de una teoría, permite problematizar la imagen del científico como sujeto solitario y refuerza la comprensión de la ciencia como una práctica socialmente situada, éticamente regulada y construida colectivamente. Lo anterior se evidencia en la intervención de E2:

Creo que la forma en que se abordan las diferencias, se construye la confianza y se gestionan las relaciones interpersonales influye directamente en que el trabajo en equipo funcione o no. Al principio, yo tenía una idea del científico como alguien muy individual, como si lo único que importara fuera lo que producía y si eso era verdadero o no, sin importar cómo se relacionaba con los demás. Pensaba que solo contaba si otro podía demostrar objetivamente que su teoría era incorrecta o si su experimento no era replicable [...]. (G1, GD2)

Complementario a lo anterior, se propuso la pregunta: ¿Considera usted que la condición humana (credibilidad, la confianza, el respeto, la autoridad y los valores éticos) incide en la construcción del conocimiento científico planteado por Einstein? (Aspectos cognitivo-epistémicos). Al respecto, E5 señala que ciertas teorías alcanzan reconocimiento no necesariamente por su solidez epistémica, sino por la posición de autoridad que ocupa el científico que las propone. Un aspecto interesante que emergió aquí es la idea de que las relaciones interpersonales entre científicos de amistad, rivalidad o incluso enemistad no solo influyen en el reconocimiento de las teorías, sino que también pueden funcionar como motores afectivos y motivacionales para el desarrollo del trabajo científico. Es decir, el deseo de demostrar que una postura es correcta puede estar animado no solo por la búsqueda de verdad, sino también por dinámicas de competencia, prestigio y validación personal; así se reconoce que la ciencia, aunque orientada por objetivos y valores epistémicos como la búsqueda de la verdad, la predicción, la explicación, la simplicidad, la consistencia, entre otras, también está atravesada por motivaciones humanas profundamente situadas. Tal como se evidencia en la siguiente intervención de E5:

Puede pasar y de hecho ha sucedido que una teoría sea aceptada socialmente en su momento porque el científico que la propone tiene mayor reconocimiento que otros. Sin embargo, con el tiempo aparecen nuevas posturas, se investiga más a fondo y se descubre que esa teoría inicial estaba equivocada. Aun así, en su momento fue ampliamente aceptada por la posición histórica del científico que la formuló. En ese

sentido, las relaciones de amistad o enemistad entre científicos también influyen en sus teorías, e incluso pueden ser un motor que los impulse a profundizar su trabajo, como una forma de demostrar quién tiene la razón. (G2, GD2)

Por su parte E1, ante el cuestionamiento anterior, expone:

[...] Entonces, sí o sí toda condición humana implica y sobre todo más en lo social, implica en el cómo se relaciona con el otro y también en cómo se construye el conocimiento. O sea, yo no creo que, si Einstein no hubiera sido en ese momento un científico tan relevante, no creo que se tomaría quizás los atrevimientos por decirlo así, de tratar mal a Max Born [Haciendo referencia que, en la carta de Einstein, este le dice que era una puta] o no solo a Max, sino a muchos y hablar con tanta autoridad como tal. Entonces, después dialogando eso, llegamos a la conclusión de que sí era realmente importante la condición humana como tal para la construcción del conocimiento científico. (G1, GD2)

Esta intervención de E1, permite profundizar en la relación entre autoridad epistémica, reconocimiento social y las dimensiones interpersonales de la práctica científica. El informante reconoce que Einstein se asumía como una figura con suficiente autoridad para manifestar desacuerdos de manera directa, incluso con cierta irreverencia, como lo ejemplifica el comentario que le hace a Max Born en una de sus cartas. Esta confianza para cuestionar, confrontar o burlarse no surge en el vacío, sino que está mediada por su estatus dentro de la comunidad científica, el cual le otorgaba legitimidad para expresar con firmeza sus posturas frente a teorías en disputa. En este sentido, el prestigio de Einstein funcionaba como un habilitador del disenso, algo que quizás no hubiera sido tolerado de la misma forma si proviniera de una figura menos consolidada.

Nuevamente se encuentra que la ciencia no es solo un sistema abstracto de ideas regulado por normas metodológicas, sino un espacio habitado por sujetos con trayectorias, emociones, egos y estrategias de posicionamiento. La manera como los científicos se relacionan, quién puede hablar, en qué tono, con qué efectos está atravesada por jerarquías, historias compartidas y estructuras de poder que moldean profundamente las condiciones del diálogo y del consenso. Así, la intervención de E1 permite entender cómo se configura la ciencia como una práctica humana compleja.

Ante la pregunta: ¿Considera usted que los aspectos políticos y sociales en los que se desarrolló Einstein incidieron en su perspectiva teórica y en la explicación de las situaciones físicas que abordó? (Aspectos socio-institucionales). E1 planteó que los aspectos políticos y sociales afectaron profundamente la manera en que Einstein comprendía y

construía conocimiento. Esto permite reconocer, tal como se ha planteado, la ciencia como práctica colectiva e históricamente situada, requiere recursos financieros, infraestructura, prestigio y pertenencia a comunidades académicas. Estos elementos forman parte de lo que hoy se entiende como la economía de la ciencia, un entramado que condiciona tanto qué se investiga como quién tiene voz para definir los problemas legítimos de investigación (Irzik y Nola, 2023).

En este contexto, la figura de Einstein no puede entenderse solo desde sus motivaciones intelectuales, sino también desde el lugar que ocupaba dentro del sistema de recompensas científicas, tal como lo describe Merton (1973). Su prestigio, visibilidad y credibilidad le otorgaban autoridad para intervenir en debates de gran calado, como por ejemplo la planteada en este trabajo de investigación. Esto no es menor: el sistema de recompensas no solo premia al primero que propone una teoría, sino también a quien la refuta o corrige errores significativos. Einstein, incluso desde su desacuerdo, seguía ejerciendo un rol productivo en la dinámica de construcción del conocimiento, algo que difícilmente podría haber hecho sin su posición privilegiada dentro de la comunidad científica.

Además, desde el marco teórico desarrollado aquí, el reconocimiento y el estatus no son solo recompensas simbólicas, sino recursos que permiten a los científicos participar en decisiones relevantes, acceder a financiamiento. Einstein pudo, más allá de su campo, movilizar debates éticos y políticos, e incidir en la opinión pública, no solo por la solidez de sus ideas, sino porque el sistema científico también lo habilitó como una figura de autoridad. Esto evidencia cómo el conocimiento científico no se produce en el vacío, sino en un entramado de relaciones de poder, competencia, financiamiento y reconocimiento. Por tanto, como bien intuye el participante, las condiciones sociales y políticas no solo afectaron la subjetividad de Einstein, sino también la forma misma en que la ciencia fue producida, validada y disputada en su época. Lo anterior puede evidenciarse en la siguiente unidad de análisis:

E1: Nuestra respuesta se basó también en lo que veníamos discutiendo, porque creemos que la condición humana influye fuertemente en los aspectos políticos y sociales, y esto afectó mucho a Einstein. Su época estuvo marcada por las guerras, y eso tuvo un impacto importante. Si no estoy mal, incluso en el texto se mencionaba algo relacionado con la ética. Yo lo interpreté así: Einstein se vio profundamente afectado por las condiciones políticas y sociales de su tiempo, y también por cómo la

ciencia fue utilizada en ese contexto, incluso para respaldar ideas políticas. Por eso, considero que esos factores tanto políticos como sociales influyeron directamente en su forma de ver el mundo y en su manera de construir conocimiento. (G1, GD2)

En la actividad científica, los desacuerdos, las controversias y la pluralidad de perspectivas, como las evidenciadas en la correspondencia entre Einstein y Born, no solo son frecuentes, sino constitutivos del desarrollo del conocimiento. Bajo esta premisa, se planteó a los participantes el siguiente cuestionamiento: ¿Considera usted que lo que llamamos naturaleza está condicionada por las concepciones de mundo de los científicos? (Aspectos cognitivo- epistémicos y socio-institucionales).

En la intervención de E4 se reconoce que lo que entendemos por “naturaleza” está condicionado por las concepciones del mundo de los científicos, y que la comunidad científica nos ha convencido de una determinada interpretación mediante argumentos. Esta afirmación sugiere una comprensión del conocimiento como construcción social, mediada por teorías, contextos y consensos. Desde esta perspectiva, E4 no solo alude al papel de los marcos teóricos en la interpretación de la realidad, sino también al carácter deliberativo de la ciencia, en tanto práctica legitimada colectivamente. Su postura trasciende un enfoque realista y se aproxima a una visión socio-constructivista del conocimiento científico. Lo anterior puede evidenciarse en la siguiente unidad de análisis:

E4: Digamos que de cierta forma lo que conocemos como naturaleza, lo conocemos porque la comunidad científica nos convenció con argumentos, nos convenció de la manera en la que interpretamos la naturaleza hoy en día. Entonces, sí sentimos que lo que consideramos naturaleza si está condicionado por las concepciones del mundo de los científicos. (G2, GD3)

En suma, las intervenciones de los participantes permiten evidenciar cómo la ciencia se configura simultáneamente como un sistema cognitivo-epistémico y socio-institucional. Los informantes problematizaron la influencia de factores políticos y sociales en la construcción del conocimiento, mostrando que las condiciones materiales y simbólicas inciden en la legitimidad de las teorías. Asimismo, se abrió el debate sobre las diferencias entre teorías científicas, revelando que no se trata simplemente de preferencias personales, sino de conflictos epistémicos profundos. Finalmente, esta categoría aportó a una comprensión de la ciencia como construcción interpretativa y consensuada, al señalar que lo que llamamos “naturaleza” está mediado por concepciones de mundo y validado por la comunidad científica. Estas voces muestran que prácticas como la observación, el

experimento o la teorización no operan en el vacío, sino que están atravesadas por estructuras institucionales, relaciones de poder y acuerdos colectivos. Reconocer esta doble dimensión permite comprender la ciencia como una práctica situada, histórica y en disputa, en la que el conocimiento no se descubre, sino que se construye, se interpreta y se negocia colectivamente.

Capítulo 5. Implicaciones Didácticas

Las reflexiones sobre las implicaciones didácticas en esta investigación no emergen únicamente del análisis de los discursos de los estudiantes de licenciatura en física que participaron en la discusión sobre los debates histórico-epistémico entre Albert Einstein y Max Born, sino que también emergen de las reflexiones teóricas que tuvieron lugar a lo largo del trabajo, todo esto en diálogo con los desarrollos en torno a las reflexiones sobre la Naturaleza de las ciencias, las perspectivas críticas sobre la enseñanza de las ciencias y la promoción de habilidades científicas afines a las habilidades para el siglo XXI.

Esta articulación, entre fundamentos teóricos y hallazgos, permite proponer un conjunto de orientaciones que, lejos de constituir prescripciones metodológicas, buscan abrir posibilidades para una enseñanza de las ciencias más situada, reflexiva y comprometida con la complejidad del conocimiento científico. Las orientaciones didácticas aquí sugeridas apuntan a enriquecer la formación de profesores, desde una visión e imagen que reconoce la ciencia como una práctica discursiva histórica, socialmente mediada y epistemológicamente plural, en la que los futuros profesores no solo reproducen saberes, sino que participan activamente en la construcción y problematización del conocimiento.

La investigación se sustentó en un marco teórico que entrelaza una comprensión histórico-epistemológica de la ciencia con una perspectiva sobre la formación de profesores orientada al desarrollo de habilidades científicas vinculadas a las exigencias del siglo XXI. Esta doble articulación permitió abordar los discursos de los futuros profesores no solo en términos de su dominio conceptual, sino también en función de los modos en que se posicionan críticamente frente al conocimiento, problematizan su carácter provisional y argumentan colectivamente en torno a temas controversiales. En lugar de reducir la ciencia a un conjunto de contenidos o métodos estandarizados, el estudio asumió una visión de la ciencia como práctica discursiva situada, permeada por contextos históricos, sociales e institucionales. Desde esta perspectiva, el intercambio epistémico entre Einstein y Born se constituyó en un dispositivo privilegiado para explorar cómo los estudiantes enfrentan tensiones cognitivas y epistémicas, al tiempo que negocian significados sobre nociones centrales como la objetividad, la incertidumbre, la causalidad o el papel del sujeto en la construcción del conocimiento.

Con base en lo anterior, se reconoce que promover prácticas dialógicas en el aula no solo favorece una comprensión más profunda y situada de la ciencia, sino que también constituye un escenario privilegiado para el desarrollo de habilidades consideradas fundamentales para el siglo XXI, en particular las relacionadas con la colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico. Estas prácticas, centradas en la negociación de significados, habilitan espacios en los que los estudiantes pueden discutir y problematizar tanto aspectos cognitivo-epistémicos (la explicación o la construcción de teorías) como aspectos socio-institucionales del conocimiento científico (como la autoridad epistémica, la legitimación del saber o el papel de las comunidades científicas). Así, la propuesta responde a una necesidad urgente en la educación en ciencias: formar ciudadanos que no solo comprendan conceptos, sino que puedan participar reflexivamente en debates públicos sobre la ciencia, discernir críticamente entre distintas fuentes de información y actuar con responsabilidad frente a los desafíos contemporáneos que entrelazan lo científico, lo social y lo ético. En este contexto, las categorías analíticas construidas en el marco de la investigación ofrecen claves para diseñar propuestas formativas que integren estas dimensiones de manera articulada y coherente con los fines de una educación científica crítica.

Una de las implicaciones centrales se relaciona con la comprensión de la colaboración como una práctica epistémica que trasciende la simple interacción entre pares. El análisis mostró que, en la experiencia de los participantes, la colaboración no se redujo a la distribución de tareas o a la coordinación de acciones, sino que implicó la construcción conjunta de explicaciones, el reconocimiento del otro como interlocutor válido y la apertura al disenso. En el marco de la experiencia de los participantes, dicha colaboración se vio estimulada por la necesidad de interpretar y posicionarse frente a un conflicto histórico-científico, lo cual exigía que los estudiantes articularan ideas, confrontaran posturas y se implicaran en procesos dialógicos. Un elemento especialmente revelador fue la manera en que las tensiones entre los miembros de un mismo grupo (así como entre grupos distintos) propiciaron espacios de deliberación y reflexión que impulsaron una comprensión más rica y matizada de los problemas abordados. Estas tensiones no fueron vistas como obstáculos, sino como motores del pensamiento, que obligaban a revisar supuestos, explicitar criterios y argumentar con mayor precisión. Esta forma de colaboración, que involucra negociación de

significados, revisión mutua y compromiso intelectual, se vincula estrechamente con el trabajo en equipo, la flexibilidad cognitiva y la resolución colectiva de problemas complejos.

De igual manera, el desarrollo del pensamiento crítico emergió como un eje transversal en los discursos analizados. Este no se limitó a la evaluación de argumentos ajenos, sino que implicó la adopción de una postura activa frente al conocimiento científico: cuestionar supuestos, identificar ambigüedades, ponderar distintas interpretaciones posibles y gestionar la coexistencia de perspectivas diversas en el marco de las discusiones científicas. En este sentido, la controversia entre Einstein y Born operó como un dispositivo pedagógico significativo, al situar a los estudiantes ante preguntas abiertas y tensiones teóricas sin resolución única, lo cual los condujo a construir, inferir y sostener ideas desde diferentes posicionamientos. Esta experiencia permitió reconocer que el pensamiento crítico en ciencias no se reduce a la aplicación de procedimientos lógicos, sino que también demanda una actitud indagadora, conciencia de los límites del conocimiento y sensibilidad ante la pluralidad de enfoques posibles. A su vez, esta capacidad crítica se vio fortalecida por la perspectiva sobre la NOS que orientó la investigación, la cual asume que comprender cómo se construye, valida y transforma el conocimiento científico es condición indispensable para intervenir reflexivamente en su producción, circulación y apropiación.

Otro aspecto de mucha relevancia en esta investigación fue la comunicación, entendida no como una habilidad técnica aislada, sino como una práctica epistémica compleja con un fuerte carácter pragmático. Los discursos de los participantes mostraron que, en el contexto de la propuesta, la comunicación desempeñó un papel central no solo en la elaboración, revisión y puesta en común de las ideas, sino también en la coordinación de acciones, en la gestión de los desacuerdos y en la construcción colectiva de significados. Esta dimensión comunicativa, emergió aquí como un medio y como condición de posibilidad para la construcción social del conocimiento.

Finalmente, la categoría de los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales del conocimiento científico. Los discursos de los estudiantes dieron cuenta de una conciencia de que el conocimiento no surge en el vacío, sino que se configura en contextos institucionales, culturales y políticos específicos. Al analizar un debate como el de Einstein y Born, marcado por profundas implicaciones filosóficas y sociales, los futuros profesores

fueron capaces de reconocer cómo influyen los valores, los compromisos teóricos y las estructuras de poder en la construcción de las teorías científicas. Esta comprensión se corresponde con una visión equilibrada, crítica y contextualizada de la NOS, que no se limita a describir la lógica interna de la ciencia, sino que también interroga su papel en la sociedad, su vínculo con los intereses humanos y las tensiones que atraviesan su desarrollo histórico. En este sentido, la controversia analizada no fue solo un recurso didáctico, sino también un pretexto para pensar la ciencia como una práctica situada, conflictiva y en permanente transformación.

En conjunto, estas implicaciones señalan la necesidad de fortalecer en la formación de profesores escenarios que no solo transmitan contenidos científicos, sino que inviten a los futuros profesores a participar en prácticas epistémicas auténticas, reflexionar críticamente sobre la ciencia y asumir una postura activa frente a su enseñanza. La articulación entre la investigación en educación en ciencias, las reflexiones sobre la NOS y el desarrollo de habilidades científicas para el siglo XXI ofrece un marco fecundo para repensar la formación inicial en clave más crítica, dialógica y situada.

Lo anterior implica pensar que enseñar ciencias, en la perspectiva que aquí se ha defendido, no consiste únicamente en transmitir conceptos ni en asegurar la adquisición de procedimientos técnicos, sino en crear condiciones para que los estudiantes se involucren con la ciencia como una práctica humana, histórica, situada y en permanente construcción. Supone reconocer que enseñar ciencias implica no solo abordar los contenidos disciplinares (teorías, modelos, leyes), sino también generar preguntas sobre las formas en que ese conocimiento se produce, se valida, circula y se disputa. Desde esta mirada, la inclusión de la NOS no es un añadido metodológico, sino una apuesta formativa que permite poner en juego dimensiones epistémicas, sociales, éticas y políticas del conocimiento científico. En este sentido, desde esta perspectiva se busca formar sujetos capaces de interrogar críticamente los saberes, asumir la pluralidad de interpretaciones posibles y participar de manera reflexiva y argumentada en los procesos de construcción y transformación del conocimiento.

El papel del profesor, entonces, se transforma profundamente. Más que un transmisor de saberes consolidados se concibe como alguien que diseña experiencias formativas capaces

de interpelar a los estudiantes, introducir preguntas significativas y proponer escenarios donde el conocimiento se problematiza, se pone en cuestión y se somete a revisión. Se espera que genere condiciones para el diálogo argumentado y el encuentro de ideas, sin renunciar a su responsabilidad de orientar y sostener procesos reflexivos sobre el conocimiento científico y su papel en la sociedad. A su vez, los maestros en formación inicial deben asumir una postura activa, no solo como aprendices de contenidos científicos, sino como participantes en una comunidad que interpreta, cuestiona y reconstruye el saber científico. Esto exige dejar atrás aproximaciones superficiales, y asumir una actitud reflexiva que permita involucrarse activamente con el conocimiento científico, reconociendo su carácter dinámico, contextual y abierto a distintas interpretaciones. En esa medida, es fundamental que los futuros profesores se visionen a sí mismos no solo como estudiantes, sino también como profesionales en formación que deben aprender críticamente para enseñar con responsabilidad, asumiendo desde ya una doble función: comprender profundamente la ciencia y construir condiciones para que otros también lo hagan.

Asumir esta perspectiva implica también reconocer sus desafíos. En primer lugar, exige un replanteamiento de las prácticas pedagógicas tradicionales, que muchas veces privilegian la homogeneidad, la certeza y la respuesta correcta, en lugar del diálogo, la ambigüedad y la construcción colectiva. También requiere una transformación profunda en la formación inicial del profesorado, de modo que no se limite a la adquisición de contenidos científicos, sino que abra espacio para la problematización del conocimiento, la participación argumentada y la reflexión sobre la ciencia como práctica situada y en disputa. Esto implica incorporar desde los primeros semestres del currículo escenarios que permitan a los futuros docentes vivenciar experiencias formativas que los interpelen, los enfrenten al disenso y los inviten a construir sentido colectivo.

Finalmente, conviene decir que, si bien se trata solo de una entre muchas perspectivas posibles en la enseñanza de las ciencias, esta apuesta busca entender la educación científica no solo como preparación técnica, sino como una vía para formar ciudadanos capaces de habitar críticamente un mundo complejo, incierto y en constante transformación.

Capítulo 6. Consideraciones finales

Esta investigación tuvo como propósito analizar cómo los aspectos histórico-epistemológicos de la perspectiva de Einstein en los debates con Born, sobre la mecánica cuántica, posibilitan el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI.

A partir de un método investigativo de corte fenomenológico, y en coherencia con los propósitos trazados, se llevó a cabo un proceso analítico que permitió alcanzar los objetivos de la investigación.

En concordancia con el primer objetivo específico de esta investigación —orientado a identificar aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia desde la perspectiva de Einstein, y a partir del análisis crítico de sus debates con Max Born—, la correspondencia entre ambos científicos se constituye en una fuente valiosa. El estudio de sus cartas permitió evidenciar, por un lado, la articulación entre dimensiones cognitivas y epistémicas, como la importancia que Einstein otorgaba a la experiencia sensorial y su defensa de una descripción determinista de los fenómenos físicos; y, por otro, elementos como las convicciones filosóficas subyacentes y las condiciones institucionales que marcaron el desarrollo y la consolidación de la mecánica cuántica.

Mientras que Einstein sostenía una concepción de la teoría científica anclada en la posibilidad de una representación objetiva y completa de la realidad física, Max Born defendía una perspectiva que asumía el carácter esencialmente probabilístico de las teorías cuánticas, aceptando que el conocimiento físico podía estar mediado por la incertidumbre y la incompletitud sin que ello significara una falla de la ciencia. Esta diferencia no solo pone en juego visiones epistemológicas divergentes, sino también modos distintos de entender la práctica científica, sus fines y sus límites, aspecto que resultó clave para los propósitos de esta investigación.

Desde este enfoque, se reafirma que los debates entre Einstein y Born permiten identificar con claridad cómo interactúan factores cognitivo-epistémicos y socio-institucionales en la construcción y justificación del conocimiento científico. Dicha interacción resulta particularmente pertinente para proponer escenarios educativos que no reduzcan la ciencia a una acumulación de contenidos acabados, sino que la presenten como

una actividad humana compleja, en la que el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración juegan un papel central.

Así, este análisis ofrece un sustento teórico relevante para fundamentar propuestas pedagógicas orientadas al desarrollo de habilidades científicas coherentes con las demandas formativas del siglo XXI, promoviendo en los estudiantes una comprensión crítica, dialógica y situada de la ciencia y su enseñanza.

Complementario a lo anterior, resulta apropiado resaltar cómo estos referentes dialogaron con las interpretaciones, inferencias, ideas y formas de participación expresadas por quienes hicieron parte del proceso investigativo. En esta misma línea, también es importante destacar como los participantes reconocen, reconfiguran o tensionan los elementos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales discutidos a lo largo del proceso.

A lo largo del proceso, se hizo evidente que las habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI no emergen de forma aislada ni como simples destrezas técnicas, sino que se entrelazan con modos de pensar, argumentar, comunicar y posicionarse frente al conocimiento. Las discusiones entre Einstein y Born, al ser puestas en escena por los participantes, se convirtieron en un escenario fértil para explorar tanto los aspectos cognitivo-epistémicos como los socio-institucionales que atraviesan la construcción del conocimiento científico. En este contexto, la reflexión de los participantes permitió identificar no solo comprensiones sobre la ciencia, sino también formas de relacionarse con los otros, de tramitar las ideas en disputa y de asumir los marcos propios de interpretación a fin de manifestar disposición para convencer y ser convencido.

En este sentido, las voces de los participantes no fueron tratadas como simples respuestas a categorías previamente establecidas, sino como expresiones situadas que dan cuenta de prácticas dialógicas en los debates sobre un caso histórico de la ciencia.

El análisis de las intervenciones de los participantes evidenció que la colaboración como una de las habilidades del siglo XXI, lejos de estar exenta de tensiones, se configura como un proceso activo en el que el disenso y la confrontación argumentativa se transforman en condiciones necesarias para intercambiar ideas sobre la ciencia. Lejos de asumirse como obstáculos, los desacuerdos fueron interpretados como oportunidades para revisar las propias posturas, generar nuevas preguntas y sostener intercambios que enriquecen la comprensión

conjunta. En este sentido, la colaboración no se limitó a una mera suma de aportes individuales, sino que se constituyó en una práctica deliberada para construcción colectiva del conocimiento.

Lo anterior sugiere que la habilidad de la colaboración, tal como emerge en esta investigación, implica una disposición hacia el otro, en la que el reconocimiento de perspectivas diversas permite crear un espacio de confianza que habilita el diálogo. Bajo estas condiciones, la gestión de las tensiones se vuelve fundamental, ya que no se trata de alcanzar consensos inmediatos, sino de habitar el desacuerdo como parte de un proceso fundamental en la ciencia. Así, cada intervención, incluso aquella que se distancia del grupo, aporta a una construcción que se valida no solo por su coherencia, sino también por su legitimidad social en el marco del consenso construido en los grupos.

Los hallazgos mostraron también que el pensamiento crítico no emergió como una habilidad aislada, sino como una práctica situada en contextos de interpretación, debate y toma de postura frente a los debates entre Einstein y Born. Las intervenciones de los participantes evidenciaron una problematización de los supuestos, se evaluó la calidad epistémica de la información, se contrastaron teorías y se reconocieron las propias trayectorias formativas y la iniciación teórica como elementos que inciden en la manera en que se interpreta la ciencia. Esta actitud frente al conocimiento permitió que las ideas propuestas no fueran simplemente la repetición de los textos, sino una reinterpretación desde una apropiación reflexiva y situada.

En este sentido, el pensamiento crítico se expresó en la capacidad para interpretar, justificar y posicionarse frente a los debates entre Einstein y Born, reconociendo las tensiones y ambigüedades de la construcción científica. La participación en estos escenarios dialógicos permitió observar cómo el análisis riguroso, el reconocimiento del desacuerdo y la toma de decisiones pueden integrarse en la formación científica. Así, esta categoría mostró que posibilitar espacios de discusión no solo potencia el desarrollo de habilidades intelectuales, sino que también abre el horizonte para una formación crítica que asuma la ciencia como un campo dinámico, contingente y profundamente humano.

En esta investigación, la habilidad de la comunicación permitió reconocer que esta no solo cumple una función instrumental, sino que se constituye en una herramienta epistémica

esencial en la construcción del conocimiento científico. Las intervenciones de los participantes evidenciaron que comunicar no es simplemente transmitir contenidos, sino establecer vínculos, negociar significados y construir colectivamente una comprensión más profunda de los fenómenos discutidos.

Desde esta perspectiva, la habilidad de la comunicación no se limita a ser un medio para expresar ideas ya formadas, sino que participa activamente en la formación de esas ideas. A través del intercambio de ideas, la reformulación de posturas y la incorporación de perspectivas ajenas, se evidenció cómo en la comunicación se articula lo cognitivo con lo social, posibilitando la emergencia de nuevas comprensiones. En este contexto, comunicar implica también escuchar, responder, reconfigurar y abrirse a la alteridad.

Además, se identificó el carácter pragmático de la comunicación, en tanto que los actos de discusión de los participantes se desplegaron en contextos situados donde el lenguaje no solo cumplió una función informativa, sino que actúa en contexto. Es decir, al comunicar, los participantes no solo compartían conocimiento, sino que también actuaban sobre el otro: cuestionaban, se posicionaban, buscaban persuadir, negociaban sentidos y reorientaban colectivamente el curso de la discusión. Esta dimensión pragmática pone de relieve que la comunicación, más que un canal neutro, constituye una práctica social situada que da forma a los procesos de construcción del conocimiento científico.

En tanto, a los aspectos cognitivo-epistémicos y socio-institucionales de la ciencia, los hallazgos asociados a esta categoría muestran que los participantes no comprenden la ciencia como un cuerpo de verdades acabadas, sino como un proceso dinámico, reconstruible y situado, atravesado tanto por dimensiones epistémicas como por factores sociales, históricos e institucionales. En sus intervenciones se reconoció que el conocimiento científico no surge en el vacío, sino en contextos cargados de tensiones, decisiones éticas, relaciones de poder y disputas interpretativas. La ciencia aparece, así, no solo como una empresa racional, sino también como una práctica humana atravesada por condicionamientos de la época, trayectorias personales y estructuras institucionales.

Desde lo cognitivo-epistémico, los participantes mostraron una comprensión incipiente del carácter tentativo y revisable de las teorías científicas, si bien identificaron cómo estas se construyen a partir de marcos conceptuales heredados, que pueden ser

reconfigurados ante nuevos problemas o evidencias. También se evidenció falta de claridad respecto a distinciones entre ley, modelo y teoría; el papel de la experimentación y su diferenciación con la observación; entre otras. Esto pone en evidencia la necesidad de fortalecer los marcos conceptuales desde los cuales se reflexiona sobre la ciencia, especialmente en los procesos de formación de profesores en la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Por su parte, las dimensiones socio-institucionales se hicieron evidentes cuando los participantes señalaron cómo los reconocimientos, las relaciones de autoridad o el contexto político influyen en la aceptación de determinadas teorías. La ciencia fue entendida también como una práctica social situada, influida por redes de colaboración, conflictos ideológicos y disputas institucionales, tal como lo ejemplificaron los informantes al relacionar la figura pública de Einstein con el impacto de su pensamiento.

En síntesis, esta categoría permitió evidenciar que los discursos de los futuros profesores sobre la ciencia articulan dimensiones epistémicas y sociales, reconociendo que la construcción del conocimiento no puede reducirse a la lógica interna de las teorías, sino que debe comprenderse como una práctica compleja, colectiva y situada, en la que lo cognitivo y lo institucional se entrelazan de manera inseparable. Al mismo tiempo, el hallazgo de ciertas ambigüedades conceptuales subraya la necesidad de replantear cómo se abordan estos aspectos en la formación profesoral, más allá de la simple transmisión de definiciones.

Por otra parte, aunque los participantes fueron profesores de últimos niveles de Licenciatura en Física, en donde ya han abordado aspectos de epistemología de la ciencia, los hallazgos de esta investigación evidencian que persisten vacíos significativos en la comprensión de dimensiones tanto socio-institucionales como cognitivo-epistémicas de la ciencia. Esta falta de claridad subraya la necesidad de continuar y fortalecer los esfuerzos pedagógicos para integrar de manera más profunda y sistemática estos aspectos en la formación de los futuros profesores.

Con respecto a lo anterior, esta investigación aporta elementos significativos para repensar la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva crítica, reflexiva y situada. Al centrarse en el análisis de los debates entre Einstein y Born, se evidenció que es posible

generar espacios de formación en los que los futuros profesores no solo accedan al conocimiento científico, sino que participen activamente en su problematización. Así, la enseñanza de las ciencias puede dejar de ser un proceso centrado en la transmisión de contenidos cerrados, para convertirse en una práctica de indagación, diálogo y construcción colectiva del saber.

En ese sentido, uno de los principales aportes de esta investigación es mostrar que el desarrollo de habilidades científicas afines a las habilidades del siglo XXI: como la colaboración, el pensamiento crítico y la comunicación, puede emerger cuando se propician contextos discursivos que permitan el análisis situado de controversias científicas reales. Al trabajar con fuentes primarias y reconstrucciones históricas, los estudiantes se enfrentan a tensiones, ambigüedades y decisiones que reflejan la práctica científica en su complejidad, lo que favorece procesos significativos y de apropiación profunda.

El uso de casos históricos, como el de Einstein y Born, no solo enriquece el contenido disciplinar, sino que también permite formar en una comprensión más amplia de lo que significa hacer ciencia y enseñar ciencia hoy, dado que tiene cierta potencia para generar procesos de reflexión crítica sobre la naturaleza de la ciencia. Lejos de presentar una imagen idealizada de la investigación científica, estos casos permiten visibilizar el papel de la incertidumbre, el disenso, los compromisos teóricos, y los contextos institucionales que condicionan la producción del conocimiento.

Este enfoque, por tanto, invita a replantear el currículo, no desde la acumulación de contenidos, sino desde la posibilidad de formar sujetos capaces de pensar críticamente, dialogar con otros, y comprender la ciencia como una construcción humana, histórica y transformable. La propuesta no es replicar debates del pasado, sino usarlos como dispositivos formativos para abrir preguntas sobre la ciencia.

Es importante señalar que retomar la lectura directa de los autores y debates fundacionales como los intercambios entre Einstein y Born se presenta como una posibilidad, entre muchas otras, para enriquecer la formación científica. Esta investigación no pretendía agotar el tema, sino ofrecer una mirada específica que pone en diálogo las habilidades científicas del siglo XXI con la naturaleza de la ciencia desde una perspectiva histórico-epistemológica. Se abre así un horizonte amplio y diverso para futuras indagaciones que

busquen integrar múltiples dimensiones del conocimiento científico en los procesos educativos.

Con respecto al método de investigación fenomenológico, este permitió centrar la atención en las experiencias vividas por los participantes. Esta perspectiva favoreció una comprensión profunda del modo en que los futuros profesores significan los debates científicos, más allá de su contenido conceptual, como escenarios donde se entrelazan ideas, trayectorias, valores y formas de entender la ciencia. Así, se otorgó centralidad a la experiencia como espacio intersubjetivo, desde el cual los participantes se posicionan, problematizan y resignifican sus comprensiones. En este sentido, el enfoque metodológico empleado ratifica una vía para acceder a los sentidos que los sujetos atribuyen a su experiencia formativa en ciencias.

Para finalizar, esta investigación, si bien permitió comprender cómo ciertos aspectos histórico-epistemológicos del caso Einstein-Born contribuyen al desarrollo de habilidades científicas afines al siglo XXI, no estuvo exenta de reorientaciones importantes, propias de la actividad científica, aspecto que, para otros investigadores puede ser de mucho interés.

Es necesario reconocer que el desarrollo de esta investigación no respondió a un proceso lineal ni completamente predefinido, sino que estuvo marcado por transiciones, replanteamientos y reorientaciones que emergieron a partir de una reflexión continua sobre los propósitos, alcances y medios empleados. Inicialmente, el estudio se concebía como una propuesta centrada en la metacognición y el concepto de energía, con la intención de diseñar e implementar una secuencia didáctica orientada por el método de estudio de caso, con el objetivo de analizar cómo estos contenidos podían contribuir al desarrollo de metacognición. Sin embargo, en el transcurso del proceso, se hicieron evidentes las tensiones entre dicho enfoque y una comprensión más amplia de la Naturaleza de la Ciencia (NOS) coherente con las preguntas de fondo que guiaban la propuesta investigativa. Fue necesario, entonces, repensar la relación entre los marcos teóricos y el problema de investigación, lo que condujo a una transformación tanto temática como metodológica.

En ese movimiento, se optó por abandonar la centralidad del concepto de energía y el enfoque metacognitivo, para dar paso a una perspectiva más articulada entre lo cognitivo-epistémico y lo socio-institucional. De igual manera, el método de estudio de caso fue

reconsiderado, en virtud de su limitación para capturar la riqueza interpretativa de las voces participantes, y se adoptó un enfoque fenomenológico, que permitió atender de forma más rigurosa a las experiencias, sentidos e interpretaciones que los sujetos construyeron en torno al análisis de los debates entre Einstein y Born. Este giro metodológico y temático no fue meramente técnico, sino el resultado de una constante interlocución con miembros de la comunidad académica, cuyas preguntas, observaciones y discusiones propiciaron nuevas lecturas y resignificaciones del objeto de estudio. Así, la investigación se configuró como un proceso dialógico en el que cada avance implicó volver sobre los referentes iniciales, redefinir los objetivos y afinar los procedimientos analíticos, en un ejercicio de construcción investigativa coherente con la complejidad de su objeto.

Cabe señalar que este trabajo constituye apenas un primer acercamiento a la relación entre las habilidades científicas del siglo XXI y la naturaleza de la ciencia, desde una perspectiva histórico-epistemológica. Se abre así una línea de investigación que puede ser ampliada a partir del análisis de otras controversias científicas, en distintos niveles de formación y desde diversos enfoques teóricos. Es necesario seguir indagando cómo estas relaciones impactan en la enseñanza de las ciencias, reconociendo que el conocimiento científico no solo implica conceptos, sino formas complejas de pensar, argumentar y participar en comunidades que construyen sentido colectivamente.

El vínculo entre las habilidades científicas del siglo XXI y la naturaleza de la ciencia desde una mirada histórico-epistemológica ofrece un terreno fértil para la investigación educativa, aún poco explorado. Este trabajo solo ha iniciado la exploración de cómo las disputas científicas pueden ser una ventana para comprender y desarrollar habilidades del siglo XXI como el pensamiento crítico, la colaboración y la comunicación. Sin embargo, resulta fundamental ampliar esta perspectiva incorporando otras controversias científicas que evidencien diferentes modos de construir conocimiento y que permitan diversificar los contextos de aprendizaje. Además, es necesario extender el análisis a distintos niveles educativos para ajustar las estrategias a las características cognitivas y formativas de los estudiantes.

En este contexto, y reconociendo que toda investigación abre más preguntas que las que logra resolver, se considera pertinente proponer nuevas líneas de indagación que amplíen

y profundicen lo aquí desarrollado. Una de ellas tiene que ver con la posibilidad de extender experiencias como esta centradas en el estudio de controversias científicas a otros escenarios formativos. En particular, ¿cómo podrían articularse propuestas de este tipo no solo en la formación inicial, sino también en la formación continua de docentes de ciencias, o incluso en espacios escolares? Esta pregunta cobra relevancia si se considera que el desarrollo de habilidades del siglo XXI en educación científica no se reduce a habilidades como el pensamiento crítico, la colaboración y la comunicación, sino que también incluye otras dimensiones como la creatividad, la alfabetización digital, la resolución de problemas complejos y la autonomía, cuya integración en el aula requiere nuevas estrategias de enseñanza.

Finalmente, una cuestión que emerge de manera transversal a esta investigación y que cobra particular relevancia al situarse en el campo específico de la enseñanza de la física tiene que ver con el lugar que ocupa la formalización matemática en el desarrollo de las propuestas didácticas centradas en la NOS. Tal como ha sido señalado por Irzik y Nola (2023), la física, a diferencia de otras disciplinas científicas, se caracteriza por una fuerte dependencia de modelos matemáticos y herramientas formales que no solo permiten describir fenómenos, sino también generar predicciones, establecer leyes y construir teorías con alto poder explicativo. No obstante, a juicio del investigador muchas de las propuestas educativas inspiradas en estudios sobre NOS que se desarrollan en la Universidad de Antioquia tienden a privilegiar los aspectos cualitativos, históricos, epistemológicos y sociológicos de la ciencia, dejando en segundo plano el papel estructurante del lenguaje matemático en el quehacer físico.

En este sentido, resulta pertinente plantear la siguiente pregunta para futuras investigaciones: ¿cómo integrar de manera coherente y significativa la formalización matemática propia de la física en propuestas didácticas orientadas al desarrollo de concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, sin diluir su complejidad ni descuidar su dimensión epistemológica? Esta línea de indagación permitiría no solo enriquecer el enfoque de enseñanza de la física, sino también complejizar el modo en que se comprende el carácter multifacético de la ciencia, incorporando tanto su dimensión conceptual como su andamiaje matemático.

Estas preguntas, entre otras, invitan a continuar y profundizar el camino iniciado, reconociendo que el estudio de la ciencia como práctica humana situada y dialógica sigue siendo un terreno fértil para transformar la enseñanza y comprensión de las ciencias en clave crítica, epistémicamente plural y pedagógicamente significativa.

Referencias

- Abaniel, A. (2021). Enhanced conceptual understanding, 21st century skills and learning attitudes through an open inquiry learning model in physics. *Journal of Technology and Science Education*, 11(1), 30-43. <https://doi.org/10.3926/jotse.1004>
- Acevedo-Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 134-169
- Acevedo Díaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386. Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA. Cádiz, España.
- Acevedo-Díaz, J. A., & García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica [“Something old, something new, something borrowed”. Trends on the nature of science in science education]. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19. <http://hdl.handle.net/10498/18010>
- Acevedo Díaz, J. A., García-Carmona, A., & Aragón, M. del M. (2016). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408-422.
- Adúriz-Bravo, A., Merce, I., & Anna, E. (2001). A characterisation of practical proposals to teach the philosophy of science to prospective science teachers. Paper Presented at the IOSTE Symposium, Paralimni, Cyprus.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Mena, N., & Badillo, E. (2006). La epistemología en la formación del profesorado de ciencias naturales: aportaciones del positivismo lógico. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*. 6-23.
- Aikenhead, G. S., & Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: *Views on Science—Technology—Society* (VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477–491. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760503>
- Allan, A., & Rowlands, S. (2020). What do parents believe are the causes of their type 1 diabetic child’s condition? *Health Education*, 120(1), 41–56. <https://doi.org/10.1108/HE-12-2019-0061>

- Ángel, D. A. (2011). La hermenéutica y los métodos de investigación en ciencias sociales [*Hermeneutics and research methods of social science*]. *Estudios Filosóficos*, 44, 9–37. <https://doi.org/10.17533/udea.ef.12633>
- ASCOFADE. (2024). *Estudio del desempeño en las pruebas Saber Pro de los programas en las áreas de ciencias de la educación o núcleo básico entre los años 2016-2021: Producto 2*. <https://ascofade.co/download/producto-2/>
- ASCOFADE. (2024). *Estudio del desempeño en las pruebas Saber Pro de los programas en las áreas de ciencias de la educación o núcleo básico entre los años 2016-2021: Producto 3*. <https://ascofade.co/download/producto-3/>
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19–37
- Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), Article 2. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
- Besso, M., & Einstein, A. (1994). *Albert Einstein: Correspondencia con Michele Besso*. Tusquets Editores.
- Born, M. (1969). *Physics in my generation* (2nd rev. ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7587-0>
- Born, M. (1973). *Correspondencia 1916-1955 Albert Einstein, Max y Hedwig Born* (1.^a ed.). Siglo XXI Editores, S.A.
- Cáceres, M., Nussbaum, M., & Ortiz, J. (2020). Integrating critical thinking into the classroom: A teacher's perspective. *Thinking Skills and Creativity*, 37, 100674. <https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1016/j.tsc.2020.100674>
- Campanario, J. M. (1998). Ventajas e inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11, 5–14.
- Campanario, J. M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 369–380.
- Carracosa Alís, J., & Gil Pérez, D. (1985). El aprendizaje en las ciencias como cambio conceptual y metodológico: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, (pp. 64). <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51956>

- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoría - Ciencia, Arte y Humanidades*, 14(1), 61–71.
- Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S.-W. and Krajcik, J. (2011), Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea for the 21st century. *J. Res. Sci. Teach.*, 48: 670-697. <https://doi.org/10.1002/tea.20424>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741-770.
- Duit, R. (2012). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. En Energy Summit - Developing a Framework for the Teaching and Learning of Energy. Michigan. Recuperado de <http://esummit-msu.net/content/teaching-and-learning-physics-energy-concept>
- Einstein, A. (1936). Physics and reality. *The Journal of the Franklin Institute*, 221(3), 290–323.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing nature of science for science education*. Springer.
- Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(2), 020103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103>
- Evans, C. (2020). *Measuring student success skills: A review of the literature on collaboration*. National Center for the Improvement of Educational Assessment. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED607774.pdf>
- Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. Research findings and recommendations*. ERIC, Institute of Education Sciences.
- Facione, P. Arthur. (2011). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*. 1–23

- Fassio, A. (2018). Reflexiones acerca de la metodología cualitativa para el estudio de las organizaciones. *Revista Digital de Ciencias Administrativas*, 6(12), 1-12. <https://doi.org/10.24215/23143738e028>
- Feest, U., & Steinle, F. (2016). Experiment. In P. Humphreys (Ed.), *The Oxford handbook of philosophy of science* (pp. 274–295). Oxford University Press.
- Fiszbein, A., Cosentino, C., & Cumsille, B. (2016). *El desafío del desarrollo de habilidades en América Latina: Un diagnóstico de los problemas y soluciones de política pública*. Diálogo Interamericano; Mathematica Policy Research; CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1031>
- Forman, P. (1984). *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica: 1918-1927*. Alianza Editorial S.A.
- Fraser, J. M., Timan, A. L., Miller, K., Dowd, J. E., Tucker, L., & Mazur, E. (2014). Teaching and physics education research: Bridging the gap. *Reports on Progress in Physics*, 77(3), 032401.
- García-Carmona, A. (2023). Scientific Thinking and Critical Thinking in Science Education. *Sci & Educ*. <https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/s11191-023-00460-5>
- García-Carmona, A. (2024). The non-epistemic dimension, at last a key component in mainstream theoretical approaches to teaching the nature of science. *Science & Education*. Advance online publication. <https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/s11191-024-00495-2>
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645–670. <https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Hodson, D. (2013). La Educación en Ciencias como un llamado a la acción. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 7 (7), 1-15. *En Memoria Académica*. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.6577/pr.6577.pdf
- Hyytinen, H., Toom, A., & Shavelson, R. J. (2019). Enhancing scientific thinking through the development of critical thinking in higher education. In M. Murtonen & K. Ballou (Eds.), *Redefining scientific thinking for higher education*. Palgrave Macmillan.
- Irzik, G., & Nola, R. (2023). Revisiting the Foundations of the Family Resemblance Approach to Nature of Science: Some New Ideas. *Science & Education*, 32, 1227–1245. <https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/s11191-022-00375-7>

-
- Kostøl, K. B., Bøe, M. V., & Skår, A. R. (2023). Nature of Science in Norway's Recent Curricula Reform. *Science & Education*, 32, 1561–1581. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00399-z>
- Labra, O. (2013). Positivismo y Constructivismo: Un análisis para la investigación social. *Rumbos TS*, 7(7), 12-21.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138–147.
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos cualitativos en investigación cualitativa*. Ediciones Morata.
- Ghiso, A. (1996). Métodos de investigación cualitativa. En G. Rodríguez (Ed.), *Metodología de la investigación cualitativa* (pp. 39–59). Ediciones Aljibe.
- González, A. M., & Hernández Alegría, A. (2014). Positivismo, Dialéctica Materialista y Fenomenología: Tres Enfoques Filosóficos del Método Científico y la Investigación Educativa. *Actualidades Investigativas en Educación*, 14(3), 502-523. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-47032014000300021&lng=en&tlng=es
- Matthews, M. R. (2014). *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science* (20th Anniversary Rev. & Exp. ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203123058>
- Malagón, J., Ayala, M., & Sandoval, S. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. En J. Malagón, M. Ayala, & S. Sandoval (Eds.), *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: Un sentido para la enseñanza de las ciencias* (pp. 87–104). Universidad Pedagógica Nacional.
- Melo-Becerra, L. A., Ramos-Forero, J. E., Rodríguez Arenas, J. L., & Zárate-Solano, H. M. (2021). *Efecto de la pandemia sobre el sistema educativo: El caso de Colombia*. Banco de la República Colombia. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/10225/be_1179.pdf
- Merton, R. (1973). *The sociology of science*. Chicago University Press.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales: Formar en ciencias, ¡el desafío!* Bogotá: Ministerio de Educación Nacional. [Archivo PDF] https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf.pdf

-
- Ministerio de Educación Nacional. (2015). *Marco estratégico*. https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-382974_recurso_2.pdf
- Murugiah, T. K. (2020). Challenges in Transforming Assessments for 21st Century Skills Development: Lecturers' Perspective. *Asian Journal of Education and Training*, 6(1), 41-46. <https://doi.org/10.20448/journal.522.2020.61.41.46>
- National Science Teaching Association [NSTA] (2020). Nature of science. *Position statement*. <https://www.nsta.org/nstas-official-positions/nature-science>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2022). *La encrucijada de la educación en América Latina y el Caribe: Informe regional de monitoreo ODS4-Educación 2030*.
- OECD (2019), *PISA 2018 Results (Volume I): What Students Know and Can Do*, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>.
- OECD (2019), *PISA 2018 Results (Volume II): Where All Students Can Succeed*, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b5fd1b8f-en>.
- Organization for Economic Cooperation and Development [OECD]. (2019). *PISA 2018*. OECD Publishing.
- OECD (2023), *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*, PISA, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2023), *PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption*, PISA, OECD Publishing, Paris, .
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. OCDE. (2016). *Revisión de políticas nacionales de educación. La educación en Colombia*. Recuperado de: http://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf
- Özdem, Y., Çavas, P., Çavas, B., Çakıroğlu, J., & Ertepinar, H. (2010). An investigation of elementary students' scientific literacy levels. *Journal of Baltic Science Education*, 9(1), 6–19.
- Pasquinelli, E., Farina, M., Bedel, A. and Casati, R. (2021), Naturalizing Critical Thinking: Consequences for Education. *Blueprint for Future Research in Cognitive Science. Mind, Brain, and Education*, 15: 168-176. <https://doi.org/10.1111/mbe.12286>
- Pickard, A. (2013). *Research methods in information* (2da ed.). American Library Association.

- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic studies. Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1–42.
- Pozo Municio, J. I., & Gómez Crespo, M. Á. (1998). El aprendizaje de conceptos científicos: del aprendizaje significativo al cambio conceptual. *Aprender y Enseñar Ciencia. Del Conocimiento Cotidiano al Conocimiento Científico*. Ediciones Morata, S.L.
- Rachmadtullah, R., Yustitia, V., Setiawan, B., Fanny, A.M., Pramulia, P., Susiloningsih, W., Rosidah, C.T., Prastyo, D., & Ardhian, T. (2020). The Challenge of Elementary School Teachers To Encounter Superior Generation In The 4.0 Industrial Revolution: Study Literature. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9, 1879-1882.
- Rodríguez, L. (2022). *Salud emocional: Un peldaño hacia el éxito escolar en tiempos de crisis*. Universidad de la Sabana.
- Romero, A. (2013). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: El caso de la experimentación en la clase de ciencias. En A. Romero, B. Henao, & J. Barros (Eds.), *La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71–98). Universidad de Antioquia.
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2009). An Explicit and Reflective Approach to the Use of History to Promote Understanding of the Nature of Science. *Science & Education*, 18, 561-580. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9088-4>
- The Partnership for 21st Century Skills. (2015). *Framework for 21st Century Learning*. Ohio Department of Education. https://www.marietta.edu/sites/default/files/documents/21st_century_skills_standards_book_2.pdf
- Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. Rutgers University Press.
- Smith, J. (2017). Interpretative phenomenological analysis: Getting at lived experience. *The Journal of Positive Psychology*, 12(3), 303-304. <https://doi.org/10.1080/17439760.2016.1262622>
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Thomas, G., & Durant, J. (1987). Why should we promote the public understanding of science? In M. Shortland (Ed.), *Scientific literacy papers* (pp. 1–14). Oxford University, Department for External Studies.
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J.-M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., Mourey, F., et al.

- (2023). Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for the Future of Work and Education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 54. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Tobón, R., & Perea, Á. (2016). Problemas actuales en la enseñanza de la Física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 1(1), 7–18. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15960>
- Turgut, H. (2011). The Context of Demarcation in Nature of Science Teaching: The Case of Astrology. *Science & Education*, 20(5-6), 491-515.
- Turiman, P., Omar, J., Daud, A. M., & Osman, K. (2012). Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 59, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.253>
- Van Manen, M. (2017). But is it phenomenology? *Qualitative Health Research* 27(6), 775-779 <https://doi.org/10.1177/1049732317699570>
- Vasilachis de Gialdino, I. (2006). *La investigación Cualitativa*. Gedisa Editorial.
- Vélez, J. D. & Cardona, R. (2021). *Propuesta de campamento emprendedor Universidad Empresa Estado y las comunidades de las subregiones de Antioquia a través de una estrategia de innovación abierta para la División de Innovación*. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Económicas.

Anexos

[Anexo 1: Instrumentos de la Investigación](#)

[Anexo 2: Matriz de Coherencia Interna](#)

[Anexo 3: Tabla de Codificación \(Abierta y Axial\)](#)

[Anexo 4: Formato Protocolo Ético y Consentimiento Informado](#)

[Anexo 5: Algunas Construcciones Escritas de los participantes](#)