APORTES DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA EN LA CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO-TIEMPO PARA EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO

ERICK RODOLFO ORTÍZ IBÁÑEZ
Licenciado en Física
Magíster en Docencia de las Ciencias Naturales

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
ÉNFASIS EDUCACIÓN EN CIENCIAS
BOGOTÁ, D. C. – SEPTIEMBRE 2025

APORTES DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA EN LA CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO-TIEMPO PARA EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO

ERICK RODOLFO ORTÍZ IBÁÑEZ
Licenciado en Física
Magíster en Docencia de las Ciencias Naturales

Tesis doctoral para optar por el título de:

Doctor en Educación

Directora de Tesis

Dra. Rosa Nidia Tuay Sigua

Grupo de Investigación

Educación en Ciencias, Ambiente y Diversidad

EduCADiverso

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
ÉNFASIS EDUCACIÓN EN CIENCIAS
BOGOTÁ, D. C. – SEPTIEMBRE 2025

Dedicatoria

A mi hija, Macarena,

Mi singularidad en el espacio-tiempo

Agradecimientos

Tantas palabras en tan corto espacio e infinitos agradecimientos. En mi trayectoria personal y académica siempre ha estado presente la memoria de mi padre, quien no pudo acompañarme físicamente en todo mi camino de adolescente a hombre ni presenciar la culminación de tantas metas alcanzadas. Pero ¿quién hubiera imaginado que aquel niño, con lágrimas en los ojos, que te miraba y te decía que no sabía dividir por dos cifras, hoy estaría defendiendo el máximo título académico? Por eso, estés donde estés, en este espacio-tiempo o en otro, tú eres el primero a quien quiero decir, ¡Gracias, Papá!

Así como tu recuerdo me acompaña en silencio, también quiero agradecer a mi señora madre, quien tomo tu papel y ha estado siempre conmigo, apoyándome y alentándome.

¿Y a quién más agradecer sino a aquella mujer indomable, que con sus ojos negros y su cabello crespo enredan mi ser? Liz Katherine, quien construyó una familia conmigo y ha sido cómplice aventurera de esta hazaña.

A mis hermanos Alejandro, Carolina y Jefferson, con quienes hemos batallado y superado obstáculos; a mis amigos, con quienes crecimos en diálogos y debates que dieron significado al vivir; a Francis, con quien forjé una amistad invaluable desde la Licenciatura que trascendió más allá de las paredes de nuestra *Alma Mater*.

A mi directora de tesis, la Dra. Rosa Nidia Tuay, guía constante, apoyo incomparable y fuente de sabiduría. Fue mi profesora durante la Licenciatura y hoy, con esa misma entrega y generosidad, me orientó en la construcción y culminación de esta etapa académica tan trascendental.

Al Dr. Agustín Adúriz-Bravo, por brindarme la oportunidad de hacer parte del *Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias -CeFIEC-* de la Universidad de Buenos Aires, durante mi primera pasantía Internacional.

A la Dra. Irene Arriassecq, por su apoyo invaluable y por permitirme compartir con el grupo de investigación *Educación en Ciencias con Tecnologías -ECienTec-* de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires -UNICEN- en Tandil, Argentina.

Al Dr. Emilio Balzano, por abrirme las puertas para realizar mi segunda estancia internacional en el grupo de investigación *Didattica e Storia della Física* del *Dipartimento di Fisica 'Ettore Pancini'*, perteneciente a la Università degli Studi di Napoli Federico II, en Nápoles, Italia.

Finalmente, en este punto me pregunto a quién más agradecer por apoyarme y acompañarme en este largo trayecto académico. Es una lista inmensa, todas aquellas personas que se cruzaron en este este camino y que, de una u otra manera, aportaron a este proyecto personal. Simplemente me queda por decirles *¡Vielen herzlichen Dank!* Muchísimas gracias.

Contenido

Dedicatoria 3

Agradecimientos 4

INTRODUCCIÓN 14

Capítulo I 17

Planteamiento del problema 17

Estado del Arte 25

Revisión de Literatura 25

Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC) 25

Espacio-tiempo (ET) 29

Pensamiento Crítico (PC) 32

Estructurar la HFC y ET para el desarrollo del PC 35

Pregunta problema 36

Objetivo General 37

Objetivos específicos 37

Capítulo II 38

La configuración del espacio-tiempo 38

Fundamentos históricos y filosóficos del espacio y del tiempo 40

La transformación del espacio y del tiempo en la física clásica 43

Filosofía y Ciencia en la interpretación del espacio tiempo 48

El surgimiento del espacio-tiempo 54

La herencia del espacio-tiempo 58

Capítulo III 64

Realismo Científico 65

Historicismo 71

Epistemología Histórica 76

Capítulo IV 82

Metodología de Investigación 82

Enfoque Interpretativo 83

Enfoque hermenéutico 85

Preconfiguración 86

Configuración 87

Refiguración 88

Relación Enfoque Hermeneútico con los tipos de Razonamiento 88

Estilos de Razonamiento 90

Configuración Metodológica 91

Diseño Metodológico 93

Unidad de análisis 94

Aplicación en el aula 97

Categorías de Análisis 100

Capítulo V 103
Codificación 103
Razonamiento Deductivo 103
Razonamiento Inductivo 104
Razonamiento Abductivo 106
Criterios de Codificación 107
Resultados y Análisis 112
Etapa I: Razonamiento Inicial (Preconfiguración) 112
Etapa II: Construcción (Configuración) 119
Actividad 1: Contexto histórico Aristotélico 120
Actividad 2: Experimento mental de Galileo Galilei 124
Actividad 3: Definición espacio y tiempo de Isaac Newton 128
Actividad 4: Propuesta de Einstein 133
Etapa III: Razonamiento Final (Refiguración) 139
Capítulo VI 147
Conclusiones 147
Alcances, limitaciones y proyecciones 153
Referencias 154
Anexo 1. Evaluación de Expertos 176
Anexo 2. Encuesta Inicial 181

Anexo 3. Actividad 1: Contexto histórico aristotélico. 185

Anexo 4. Actividad 2: Experimento mental de Galileo Galilei. 188

Anexo 5. Actividad 3: Definición espacio y tiempo de Isaac Newton 190

Anexo 6. Actividad 4: Propuesta de Einstein. 192

Anexo 7. Encuesta Final.....194

Índice de tablas

Tabla 1. Tipo de Investigación del ET en la educación secundaria 22

Tabla 2. Actividades etapa II 96

Tabla 3. Verificación de aplicación.....97

Tabla 4. Tiempo de aplicación secuencia de razonamiento.....98

Tabla 5. Población participante 99

Tabla 6. Matriz categorías de Análisis.....100

Tabla 7. Fundamentación análisis respuesta estudiante 3.....111

Tabla 8. Condiciones de las corrientes Históricas y filosóficas establecidas. 144

Índice de figuras

Figura 1. Publicaciones por año en relación con la Historia y Filosofía de la Ciencia 26

Figura 2. Documentos publicados por país filial primer autor entorno a la HFC 26

Figura 3. Relación entre Historia y Filosofía de la Ciencia.....27

Figura 4. Publicaciones por año en relación con la Teoría de la Relatividad y/o espacio-tiempo.....29

Figura 5. Documentos publicados por país filial primer autor entorno a TR y/o ET 30

Figura 6. Autores representativos 30

Figura 7. Publicaciones por año con relación al PC en la EC 33

Figura 8. Relevancia del PC en la EC en el mundo.....33

Figura 9. Desarrollo de categorías por país filial de los investigadores. 35

Figura 10. ¿Qué es el realismo Científico? 65

Figura 11. Realismo Científico Sankey. 68

Figura 12. Historicismo según Reynolds....72

Figura 13. Epistemología Histórica. 78

Figura 14. Triángulo, corrientes de la Historia y Filosofía de la Ciencia....81

Figura 15. Doble interpretación....83

Figura 16. Fases de la investigación. 93

Figura 17. Secuencia de Razonamiento....96

Figura 18. Criterios de codificación Tipos de razonamiento. 108

Figura 19. Criterios de codificación Corrientes de la HFC 109

Figura 20. Articulación hermenéutica entre la HFC y tipos de razonamiento. 110

Figura 21. Análisis respuesta del estudiante E3 111

Figura 22. Tipos de razonamiento frente a las categorías de análisis....114

Figura 23. Respuesta Estudiante E1 115

Figura 24. Respuesta Estudiante 60....116

Figura 25. Respuesta estudiante E3....117

Figura 26. Red de concurrencias Preconfiguración....118

Figura 27. Tipos de razonamiento Actividad 1. Contexto aristotélico 121

Figura 28. Respuesta estudiante 178. 122

Figura 29. Respuesta estudiante 201, Actividad 1....122

Figura 30. Respuesta estudiante E41, Actividad 1 122

Figura 31. Respuesta estudiante E69, Actividad 1 123

Figura 32. Red de concurrencias Configuración, Actividad 1.....123

Figura 33. Tipos de razonamiento Actividad 2. Experimento mental Galileo Galilei 125

Figura 34. Respuesta estudiante E6, actividad 2 126

Figura 35. Respuesta estudiante E12, actividad 2 127

Figura 36. Red de concurrencias Configuración, actividad 2 127

Figura 37. Tipos de razonamiento en la actividad 3. Definición espacio y tiempo Isaac Newton 129

Figura 38. Respuesta estudiante E34, actividad 3 130

Figura 39. Respuesta estudiante E210, actividad 3 130

Figura 40. Respuesta estudiante E22, actividad 3 131

Figura 41. Red de concurrencias Configuración, actividad 3 131

Figura 42. Tipos de razonamiento actividad 4. Propuesta de Einstein.....133

Figura 43. Respuesta estudiante E213, actividad 4 134

Figura 44. Respuesta estudiante E42, actividad 4 134

Figura 45. Respuesta estudiante E156, actividad 4 135

Figura 46. Respuesta estudiante E15, actividad 4 135

Figura 47. Red de concurrencias Configuración, actividad 4 136

Figura 48. Red de interpretación tipos de razonamiento Etapa II 137

Figura 49. Tipos de razonamiento, Razonamiento Final (refiguración).....140

Figura 50. Diagrama RD y RI en el HC y Relativismo.....141

Figura 51. Respuesta estudiante E115, refiguración 142

Figura 52. Respuesta estudiante E105.....142

Figura 53. Respuesta estudiante E1.....143

INTRODUCCIÓN

Siempre que las ideas sean representaciones adecuadas de los objetos podrán aplicarse a éstos las relaciones, contradicciones y concordancias de las ideas: cabe observar, en general, que ésta es la base de todo conocimiento humano (Hume, 1984, p. 120).

Ludwig Fleck, en su texto *Zur der „Wirklichkeit*“ (1929) [Sobre la crisis de la “realidad” (1994)], argumenta que es necesario obtener primero una *Wissensanschauung* [imagen del conocimiento] antes que una *Weltanschauung* [imagen del mundo]. Esta distinción permite entender que el conocimiento no es simplemente un proceso de transferencia de saberes, sino un desarrollo que parte de una construcción social, cultural e histórica. Aunque el conocimiento dependa de una acumulación previa del saber, se encuentra sumergido en un constante cambio y evolución, lo cual permite generar y modificar las condiciones necesarias para adquirir una nueva sapiencia.

Esto conduce a que toda indagación del conocimiento a lo largo de la historia impulse a la ciencia como un campo investigativo relevante, tanto en el ámbito académico como en el cotidiano, puesto que ha estado presente desde las culturas más antiguas, lo que ha conllevado a avances científicos y tecnológicos significativos hasta nuestros tiempos. Por ende, la ciencia se sitúa como una rama del conocimiento humano y, aunque existan diversas posturas y definiciones, estas convergen en que la ciencia es “la comprensión de la naturaleza cuyo producto es el conocimiento” (Pérez, 2009, p. 12), lo que también implica que la ciencia tiene un alcance tanto para el conocimiento como para el desarrollo sociocultural.

Sin embargo, es pertinente tener en cuenta que la construcción del conocimiento no solo debe basarse en comprender el comportamiento de la naturaleza y desarrollar nuevos saberes y teorías, sino en que la persona tenga la capacidad de analizar lo conocido, reestructurarlo y generar un discernimiento que la conduzca a la producción de algo nuevo e innovador. Esta manera de captar la cognición del desarrollo del conocimiento de la humanidad debe desempeñar un papel

principal en las aulas de ciencias, dado que conlleva al estudiante a examinar las diferentes teorías científicas y su evolución.

Repensar la educación en ciencias en el aula como un proceso de construcción y producción de conocimiento (Céspedes, 2016) permite diseñar nuevas estrategias de enseñanza. No obstante, para ello es primordial plantearse interrogantes ¿cómo lograr la comprensión de la ciencia en el aula escolar? ¿Cómo llevar al estudiante a una educación científica si actualmente hay una mayor accesibilidad a la divulgación científica para un público general y los avances de la inteligencia artificial (IA) posibilitan aún más el acceso a explicaciones sin mayor preámbulo? Sin embargo, surge un interrogante más concreto ¿ese público comprende los alcances del conocimiento científico que se divulga por los diferentes medios? Estas preguntas permiten comenzar a plantear una problemática frente a cómo influye la Enseñanza de la Ciencia (EC) en los contextos escolares. Por ello, es fundamental que las prácticas pedagógicas en la EC conlleven al desarrollo de habilidades de razonamiento (Cabello et al., 2021; García et al., 2002). Con todo, es necesario detenerse un momento para comenzar a examinar ¿cómo razonan los estudiantes de secundaria en las aulas de ciencias?

Este razonamiento debe tener un enfoque que incida en el desarrollo del Pensamiento Crítico (PC) en los estudiantes, logrando así una comprensión de las ciencias y de la construcción misma del conocimiento. Por ende, la presente investigación doctoral se centró en analizar la configuración del espacio-tiempo (ET) que se encuentra inmersa en la Teoría de la Relatividad (TR), apoyándose en la Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC). A lo largo de la historia, principalmente en la filosofía y en la física, estas entidades han estado en permanente discusión para su entendimiento. El absolutismo newtoniano y el relativismo einsteiniano son las posturas más notorias; sin embargo, la controversia en torno al espacio-tiempo permite explorar cómo se ha conllevado la producción y comprensión del conocimiento para generar nuevas teorías.

De este modo, se tienen en cuenta los aportes de la HFC. Kragh (1989) señala que "la visión de ciencia actual que tenemos en la actualidad es producto de un proceso histórico" (p. 39), puesto que el conocimiento que ha alcanzado la humanidad ha sido posible en la medida en que se ha conservado a lo largo de su existencia, sin ser olvidado, y ha permitido ir modificándolo poco a poco. Para ello, ha sido necesaria la filosofía de la ciencia, dado que esta es "también una parte de la filosofía, aquella que precisamente se encarga de analizar a la ciencia" (Lorenzano, 2011, p.

135). En este sentido, interpretar la historia de la ciencia como una reconstrucción de explicaciones y a la filosofía de la ciencia como la comprensión de estas (Izquierdo-Aymerich et al., 2016) resulta indispensable. Por ello, la presente tesis doctoral se estructura en seis capítulos.

En el primer capítulo, se aborda la contextualización problemática frente a la importancia de la formación y de la enseñanza de las ciencias. También se presenta el estado del arte de las categorías de análisis, en el que se evidencian las investigaciones halladas en bases de datos como *Scopus, Google Académico, EBSCOhost, Latindex* y *Scielo* sobre Pensamiento Crítico, Historia y Filosofía de la Ciencia y comprensión del espacio-tiempo en la educación secundaria. Finalmente, se plantean los objetivos de la investigación.

En el segundo capítulo, se desarrolla el contexto conceptual, histórico y filosófico de los aportes y posturas que envuelven el espacio-tiempo, a partir de pensadores como Aristóteles, Plotino, Platón, San Agustín, Galileo, Newton, Leibniz, Kant, Mach, Husserl, Heidegger, Poincaré y Minkowski, quienes contribuyeron con bases para que Einstein razonara de manera distinta y fundamentara una nueva teoría física.

En el tercer capítulo, se describen las corrientes de Historia y Filosofía de la Ciencia, que permiten identificar componentes clave en la comprensión y construcción del conocimiento científico, su relevancia en la enseñanza de las ciencias y cómo desde la historia se permite indagar y contextualizar teorías científicas en la educación secundaria.

En el cuarto capítulo, se expone la estructura metodológica de la investigación, partiendo del enfoque interpretativo-hermenéutico, la recolección de datos y el análisis del razonamiento de los estudiantes mediante la secuencia de razonamiento aplicada en el aula. Asimismo, se detallan las categorías de análisis relacionadas con los objetivos planteados.

En el quinto capítulo, se presentan los criterios de codificación, los tipos de razonamiento abordados por los estudiantes y los resultados y análisis de cada etapa correspondiente al círculo hermenéutico, con énfasis en la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.

Finalmente, en el sexto capítulo, se exponen las conclusiones, que dan cuenta de los alcances y limitaciones de la investigación, así como de los aportes fundamentales para la enseñanza de las ciencias.

Capítulo I

La física nos ayuda a profundizar en las diversas capas del misterio. Nos enseña que la estructura temporal del mundo es distinta de nuestra intuición. Nos da la esperanza de poder estudiar la naturaleza del tiempo liberándonos de la niebla causada por nuestras emociones.
(Rovelli, 2018, p. 148).

El presente capítulo exhibirá la contextualización general de esta investigación doctoral, partiendo de cómo la formación es primordial para la constitución de ciudadanos críticos y reflexivos. Además, se presenta el estado del arte con el propósito de dar cuenta de los alcances y limitaciones que han tenido la Historia y Filosofía de la Ciencia, el Pensamiento Crítico y la enseñanza del espacio y del tiempo en estudiantes de educación secundaria. Finalmente, se plantean los objetivos que orientan el desarrollo de este trabajo investigativo.

Planteamiento del problema

Tradicionalmente, la concepción de formación está ligada al campo educativo, el niño asiste a la escuela para ser "formado", allí inicia un proceso de enseñanza-aprendizaje en diversas áreas del conocimiento. Posteriormente ingresa a la educación superior para "formarse" en un área específica como las ciencias humanas, exactas o naturales, entre otras. Así, la educación se entiende como un proceso continuo de preparación y un método de formación donde se adquieren ciertos conocimientos para desenvolverse en un ámbito social y laboral.

No obstante, es imprescindible comprender que la formación va más allá de la mera adquisición de conocimientos, y que esta no se produce simplemente por el hecho de poseerlos (Bustamante, 2019). Los procesos de formación o de «escuela» deben entenderse como aquel en el que "la persona, desde lo interior, va dando su forma de ser, generando una capacidad de libertad" (Daros, 2012, p. 27). Esto conlleva a alejarse de una escuela reducida a la captación de

conocimiento, para convertirse en un espacio donde el estudiante desarrolle continuamente habilidades de pensamiento que le permitan no solo adaptarse, sino también construir sociedad. En este sentido, la formación en la «escuela» "no es la realización de los objetivos explícitos de la educación. El sujeto no está dado, se produce" (Bustamante, 2013, p. 161). Por ello, además de las condiciones primarias que deben garantizar las políticas educativas, el estudiante necesita "contar con un educador en condiciones de ser conductor de procesos de producción y acceso al conocimiento" (MEN, 2013, p. 26).

La educación debe encaminarse a enseñar a pensar (Kant, 2016), es decir, generar en el educando la búsqueda de las habilidades que posee y de aquellas que le hacen falta para solucionar un problema, fomentando así un aprendizaje permanente (Elosúa & García, 1993). Esto implica que la educación no debe orientarse únicamente al presente, sino también al futuro, a una etapa mejor, en la que se desarrolle una racionalidad autónoma y se forme a individuos críticos (Beade, 2017).

La formación de ciudadanos críticos es un eje fundamental en la educación, pues permite desarrollar habilidades de Pensamiento Crítico y responder a las exigencias del día a día en un mundo sumergido por los avances científicos y tecnológicos, resaltando, la importancia de la educación. La Enseñanza de la Ciencia desempeña, en este marco, un rol primordial, al proporcionar mecanismos que contribuyen tanto a la comprensión de la formación como a la construcción y evolución del conocimiento.

Estos avances, tanto científicos como tecnológicos, influyen en el sistema sociocultural, generando curiosidad frente a las innovaciones y acercando la divulgación científica aún más al público general. Surge entonces la pregunta ¿todas las personas tienen la capacidad de analizar y comprender estos avances? ¿Comprenden realmente la ciencia que se divulga en los diferentes medios? Aquí se destaca la importancia de la relación entre educación y Enseñanza de la Ciencia en las aulas. Desde la actualización de los currículos escolares hasta la investigación en estrategias de enseñanza-aprendizaje, la meta es promover la comprensión del conocimiento científico y su vínculo con la Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) (Reverte et al., 2023).

De ello se desprende la problemática de la Enseñanza de la Ciencia, en la que intervienen múltiples factores del sistema educativo, desde los contextos socioculturales hasta las políticas

públicas. La UNESCO (1999) lo señala claramente "las ciencias deben estar al servicio conjunto de la humanidad y contribuir a dotar a todas las personas de una comprensión más profunda de la naturaleza y la sociedad (…) y sostenible para las generaciones presentes y futuras". Así, la Enseñanza de la Ciencia se convierte en un punto clave en la formación de ciudadanos, introduciéndolos en el pensamiento científico. La EC pasa a constituirse en un campo de conocimiento y un reto intelectual, pedagógico y didáctico para los docentes, quienes deben fomentar la construcción de conocimiento desde las aulas (Figueroa et al., 2020; Quintanilla, 2009).

Ahora bien, la Enseñanza de la Ciencia debe alejarse de la postura tradicional enfocada únicamente en la captación del conocimiento. Arteaga et al. (2016) consideran que "el espacio destinado a la acumulación del conocimiento debe ser reemplazado por el pensamiento crítico" (p. 170), lo cual permite transformar las prácticas educativas e incentivar en los estudiantes procesos cognitivos no memorísticos (Caballero & Recio, 2007). De esta manera, se va construyendo una educación en ciencias que influye en la formación de ciudadanos (Asencio-Cabot, 2017). El Pensamiento Crítico, con sus diversas habilidades (Facione, 2007), no solo promueve la construcción de conocimiento individual, sino que genera procesos cognitivos que posibilitan organizar y evaluar distintas situaciones hasta comprenderlas.

La Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria es un espacio imprescindible para el desarrollo del Pensamiento Crítico, más allá de resolver problemas y analizar información científica, fomenta procesos reflexivos que permiten comprender la conexión teórico-práctica del conocimiento. De ahí la necesidad de generar nuevos enfoques en los contextos de enseñanza-aprendizaje, en los que se favorezca la comprensión y evolución del conocimiento.

En consecuencia, resulta fundamental establecer propuestas de enseñanza-aprendizaje que promuevan el Pensamiento Crítico en el aula (Jaramillo et al., 2023; López, 2012), adecuándolas de manera precisa y eficiente al panorama de las ciencias escolares (Puig et al., 2023; Blanco et al., 2017). En este contexto, la incorporación de la Historia y Filosofía de la Ciencia en las aulas de secundaria resulta clave, dado que es una disciplina que "puede ayudarnos a recuperar el interés por el mundo natural y por el proceso de formalizarlo… [y] reconocer los diversos ambientes en los que se ha construido la ciencia" (Izquierdo-Aymerich et al., 2016, p. 16), contribuyendo significativamente a la enseñanza de las ciencias.

Con todo, es necesario precisar, como lo señalan Müller y Mendes (2020), que la enseñanza de las ciencias no consiste simplemente en demostrar contenidos, sino también en evidenciar los aspectos históricos y sociales presentes en el contexto científico, en tanto la historia es inherente al desarrollo del conocimiento y de los sistemas socioculturales. Tanto es así que algunos autores, como Acevedo et al. (2017), han propuesto la historia de la ciencia como estrategia para enseñar la naturaleza de la ciencia; incluso García (2021) identifica que el análisis reflexivo de un caso de la historia de la ciencia mejora la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia.

Rost y Knuuttila (2022) sostienen que la filosofía de la ciencia es necesaria en la educación científica, dado que ofrece un camino para comprender la construcción del conocimiento; Sin embargo, es importante considerar la necesidad de articular la historia de la ciencia con la filosofía de la ciencia. Al respecto, Lakatos (2011) afirma "la filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia es vacía; la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega" (p. 11), otorgando una relevancia significativa a ambas. En la misma línea, el Comité de Historia y Filosofía de las Ciencias (Esposito, 2018) señala que

> Una buena historia y filosofía de la ciencia no es solo historia de la ciencia informada de algunos elementos de filosofía de la ciencia y, tampoco una filosofía de la ciencia con algunos elementos históricos. Es, en cambio, un trabajo histórico y filosófico al mismo tiempo (p. 88).

Niaz (2012) argumenta que la "Historia y Filosofía de la Ciencia puede ilustrar el camino que debemos seguir en nuestros textos y salones de clase" (p. 243), por lo que el conjunto de la HFC aporta elementos tanto para la comprensión como para el desarrollo del conocimiento, abriendo caminos investigativos hacia el fomento del Pensamiento Crítico en las aulas de ciencias de secundaria y en la formación de ciudadanos. Asimismo, García (1996) considera que la historia de las ciencias no consiste en una sucesión de hechos organizados unos sobre otros hasta conformar el conocimiento científico, al contrario, es una evolución paulatina que debe enfrentar y sobrellevar los cambios teóricos que se presentan, permitiendo una metamorfosis en las teorías científicas. En consecuencia, es necesario comenzar a construir en las aulas de educación secundaria una interpretación analítica y crítica del conocimiento científico desde un enfoque histórico y filosófico de las ciencias.

Teniendo en cuenta lo anterior, el conocimiento es un proceso histórico y evolutivo que se ha transformado a través de diferentes teorías científicas que han aportado al desarrollo sociocultural. La Enseñanza de la Ciencia, en este marco, se convierte en un camino para desarrollar habilidades cognitivas que favorezcan la comprensión e interpretación de dichas teorías; No obstante, algunas de ellas llevan ya varias décadas desde su formulación y todavía suscitan amplias y relevantes discusiones en la comunidad científica. Asimismo, en la actualidad no son muy consideradas en los contextos escolares para su enseñanza, como ocurre con la Teoría de la Relatividad, TR, (Kaur et al., 2024; Castañeda et al., 2024; Arriassecq et al., 2016) y la polémica que esta generó en torno a una nueva comprensión del ET.

La nueva interpretación que Albert Einstein presentó en 1905 en su artículo *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* [Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento], respecto al espacio-tiempo, proporcionó fundamentos necesarios para resolver imprecisiones que las teorías anteriores aún no lograban explicar. La Teoría Especial de la Relatividad (TER) no solo brindó esta unificación del espacio y el tiempo como una sola entidad, al tener en cuenta los sistemas inerciales respecto al observador, también conllevó a reabrir la discusión filosófica en torno a ellos, una controversia que se remonta a los griegos y que ha recibido diferentes interpretaciones a lo largo de la historia (Guarín, 2013; Stachel, 2011; Sánchez, 2000). Algunas de estas posturas provienen de la subjetividad (Agustín, 2010), la intuición (Kant, 2014), el orden de coexistencia y correlaciones de Leibniz (Rada, 1980) o el absolutismo (Newton, 2013), entre otras.

La dificultad para comprender las entidades del espacio-tiempo lo convierte en un planteamiento problemático y desafiante en el contexto educativo, especialmente en la educación secundaria, dado que permite abordar percepciones hipotéticas que favorecen el desarrollo del Pensamiento Crítico y el conocimiento del razonamiento científico. De ahí que interpretar la problemática del espacio-tiempo desde la Historia y Filosofía de la Ciencia fortalezca la Enseñanza de la Ciencia en el aula, mostrando la evolución del conocimiento como un proceso de cuestionamiento, investigación y transformación. Sin embargo, las investigaciones sobre el espacio-tiempo en la física, dirigidas a este nivel educativo, son escasas. Algunos autores han abordado estas temáticas en sus trabajos al intentar aproximar la enseñanza de la TR al aula escolar (Stein et al., 2023; Addad et al., 2022; Alstein et al., 2021).

Asimismo, diferentes investigadores a nivel mundial, como Kaur et al. (2024), Foppoli et al. (2018), Kaur et al. (2017a, 2017b), Henriksen et al. (2014), entre otros, han buscado contribuir a la introducción de la Teoría de la Relatividad de Einstein, junto con otros de sus aportes, en las aulas y en los currículos escolares. De esta manera, se han sumado al proyecto Einstein-First, liderado por la University of Western Australia, que pretende resaltar e investigar la importancia de incluir la física einsteiniana en las escuelas a nivel internacional (UWA, 2024).

Al respecto, el trabajo desarrollado por Alstein et al. (2021), *Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review* [Enseñanza y aprendizaje de la Teoría de la Relatividad especial en la educación secundaria y universitaria: una revisión de la literatura], evidencia que la enseñanza de la Teoría de la Relatividad es un campo investigativo muy reciente en la educación secundaria, y que aún existen conceptos complejos de trasladar al aula, lo que genera vacíos en su posible enseñanza. Sin embargo, los autores destacan su importancia, dado que permite iniciar un distanciamiento de la física clásica, favoreciendo la exploración de lo fundamental del espacio-tiempo y la relevancia de la TR en la historia, así como comprender la transformación y evolución del conocimiento científico, fomentando el Pensamiento Crítico.

En la revisión de literatura realizada por Ortiz y Tuay (2024) se analiza la escasa producción existente sobre el proceso de enseñanza y comprensión del espacio-tiempo en la educación secundaria, como se evidencia en la tabla 1. Aun así, los autores recalcan que es

> un pequeño aporte de la enseñanza de la física en la interpretación del espacio-tiempo en los estudiantes de secundaria constituye un avance significativo en lograr un interés hacia las ciencias (…) a conocer la construcción del conocimiento a lo largo de la historia (p. E16).

Tabla 1. Tipo de Investigación del ET en la educación secundaria

Base de datos	Scopus	Google Académico
Artículos	12	1
Conferencias/ponencias	1	3
Trabajo de pregrado	-	1
Tesis de maestría	-	1
Tesis doctoral	-	1

Nota: Tomado de Ortiz y Tuay (2024).

Por este motivo, analizar la configuración del espacio-tiempo mediante los aportes que brinda la Historia y Filosofía de la Ciencia, y que posibilite desarrollar el Pensamiento Crítico en los estudiantes, conlleva a problemáticas en el campo de la Enseñanza de la Ciencia en las aulas de secundaria. En este sentido, Arriassecq et al. (2017a) argumentan que la historia y la epistemología de la ciencia son fundamentales para construir secuencias de enseñanza-aprendizaje en el abordaje de la TER, pues permiten identificar tanto los obstáculos como la relevancia del conocimiento científico. Asimismo, resaltan que las temáticas de la TER pueden ser incluidas en los currículos de secundaria; en esta misma línea, Aguilar (2022) señala que "la relatividad mostraba que el carácter absoluto o relativo del espacio y del tiempo requiere justificación. Einstein ofrecía esa justificación" (pp. 25-26), de manera que realizar indagaciones históricas y filosóficas sobre la relatividad permite analizar el conocimiento científico. Así, algunos autores han abordado la Teoría de la Relatividad desde esta perspectiva, como Jun-Young Oh (2022), quien en su libro expone la Teoría de la Relatividad desde la filosofía de la ciencia.

Esta investigación se orienta al desarrollo del Pensamiento Crítico mediante la habilidad del razonamiento para la comprensión del espacio-tiempo en estudiantes de secundaria. En este sentido, es necesario tener en cuenta la taxonomía de síntesis de destrezas de alto nivel del Pensamiento Crítico desde la perspectiva de Vásquez y Manassero (2019), donde

> las destrezas de pensamiento [están] en cuatro dimensiones: razonamiento, creatividad, procesos complejos y evaluación y juicio; y dentro de cada una se encuadran distintas categorías; por ejemplo, dentro del razonamiento se ubican el razonamiento lógico, los razonamientos empíricos y las falacias. A su vez, cada una de las categorías puede dividirse en otras subcategorías (el caso de los razonamientos empíricos), o bien desplegar las destrezas más representativas en cada categoría (p. 30).

Por lo tanto, se analiza su subcategoría a partir de tres tipos de razonamiento: deductivo, inductivo y abductivo.

Para ello se parte de que el razonamiento deductivo, como lo describen Martín y Valiña (2002), se fundamenta en el proceso que se sigue al obtener conclusiones y, al mismo tiempo, en la posibilidad de caer en errores. Luego, se tienen en cuenta tanto las teorías de las reglas formales

de inferencia como la de los modelos mentales, que se resumen en que las reglas son necesarias para llegar a una conclusión, o bien en cuántos modelos mentales se requieren para obtenerla, sea verdadera o no. Asimismo, se encuentra el razonamiento inductivo, el cual se basa en los resultados; de acuerdo con Sanz y Sanz (2006), este tipo de razonamiento parte de que tales resultados pueden ser verdaderos o no, y se centra en la necesidad de probar las hipótesis que se fundamentan en el saber previo o empírico para así alcanzar una conclusión. Además, el razonamiento abductivo, desde la perspectiva de Peirce, "es un razonamiento que explica hipotéticamente un hecho apostando por una respuesta dentro de un campo de opciones que es reducido" (Orozco, 2020, p. 270).

Partiendo de este panorama sobre lo que conforma la Historia y Filosofía de la Ciencia y la discusión en torno al espacio-tiempo, se constituye una base conceptual para desarrollar el Pensamiento Crítico en estudiantes de básica secundaria, aportando así a la enseñanza de las ciencias y, en especial, a la enseñanza de la física. Los aportes que brinda el análisis histórico y filosófico de las ciencias, al profundizar en las concepciones del espacio y del tiempo —tanto absolutistas como relativistas—, permiten comprender la importancia de estos en la construcción del conocimiento científico; por ello, incluir la HFC en los contextos escolares conlleva a que los estudiantes inicien el desarrollo y la potenciación de habilidades de pensamiento, en particular las relacionadas con el razonamiento.

La articulación de contextos históricos y su respectivo análisis desde la filosofía de la ciencia permite al estudiante potenciar el Pensamiento Crítico (Ortiz, 2024), en particular la habilidad de razonamiento, ya que lo induce a generar reglas de pensamiento, considerando qué aspectos de la historia fueron relevantes o no, verdaderos o falsos, para que finalmente construya hipótesis y pueda ofrecer explicaciones no solo sobre el espacio-tiempo, sino también acerca del arduo proceso que implica la construcción del conocimiento científico.

Finalmente, los elementos expuestos dan pertinencia a esta investigación, dado que están encaminados a generar nuevas prácticas en la enseñanza de las ciencias, reconociendo la importancia de la educación secundaria en la formación de ciudadanos críticos que logren comprender y fundamentarse en el conocimiento científico. Asimismo, se busca que los estudiantes se involucren en la comprensión y construcción del conocimiento mediante las temáticas que la física proporciona.

Estado del Arte

En la presente tesis doctoral se establece el estado del arte como una indagación sobre las categorías de la HFC, ET y el PC en la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria, lo que permite identificar los alcances y limitaciones que han tenido. Para ello, se realizó una revisión de literatura en las bases de datos *Scopus, Google Académico, EBSCOhost, Latindex, Scielo* y *Redalyc*, con una ventana de observación comprendida entre los años 2012 y el primer semestre de 2025. Se establecieron las ecuaciones de búsqueda respectivas y los resultados fueron organizados en una matriz de referencia en la que se detallaban las características principales de cada documento (título, autor(es), revista, tipo de documento, país y resumen), esta estructura facilitó la exploración correspondiente para cada categoría.

Es importante destacar que, en el ámbito escolar, se ha propuesto incluir la Historia y Filosofía de la Ciencia en los currículos de ciencias, con el fin de llevar al aula un enfoque contextualizado y superar la idea de que la ciencia no implica un proceso arduo y, aún más, de que únicamente constituye un camino metodológico simplista (Zapata, 2015; Guridi & Arriassecq, 2004; Matthews, 1994, 1991). Asimismo, la pertinencia de fomentar el Pensamiento Crítico en los estudiantes les permite adentrarse en el campo de la física y desarrollar habilidades de pensamiento para la comprensión de las ciencias y la construcción de su propio conocimiento. Por lo tanto, es necesario que las prácticas educativas y de enseñanza estén orientadas al desarrollo de este tipo de pensamiento (Vieira et al., 2011). La revisión de literatura se realizó de manera individual para cada categoría —HFC, ET y PC— a partir de ecuaciones de búsqueda que emplearon los operadores booleanos *AND* o *"+"*, según correspondiera en las respectivas bases de datos.

Revisión de Literatura

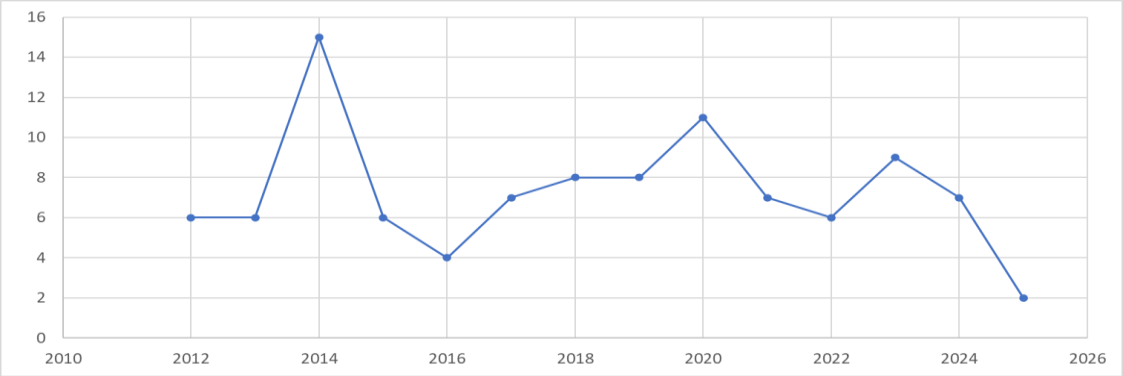
Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC)[1]

La revisión documental en esta categoría presenta antecedentes sobre el manejo de la HFC en la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria, mostrando cómo su uso brinda un panorama para los procesos de enseñanza-aprendizaje relacionados con la construcción del

[1] Una versión preliminar de esta sección fue presentada como ponencia en el *12° Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía,* llevado a cabo en octubre de 2024 en la Universidad del Valle (Cali, Valle del Cauca).

conocimiento científico y con la comprensión de las ciencias (física, química y biología). Se consideraron 102 documentos vinculados a la educación secundaria que abordaban las ciencias desde lo histórico, lo filosófico o ambos enfoques en las aulas.

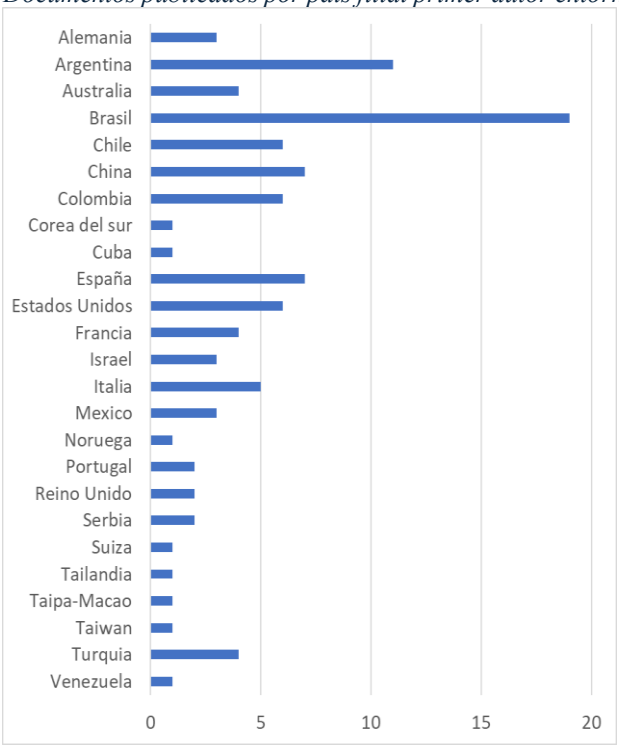
Figura 1. Publicaciones por año en relación con la Historia y Filosofía de la Ciencia



Nota: Elaboración propia

La figura 1 evidencia cómo la Historia y Filosofía de la Ciencia ha sido considerada para llevarla al aula desde un contexto educativo en la educación secundaria, así como la importancia de incluirla en los currículos escolares. Del mismo modo, investigaciones realizadas en diferentes lugares del mundo muestran este interés por abordar las ciencias desde la HFC, como se observa en la figura 2.

Figura 2. Documentos publicados por país filial primer autor entorno a la HFC

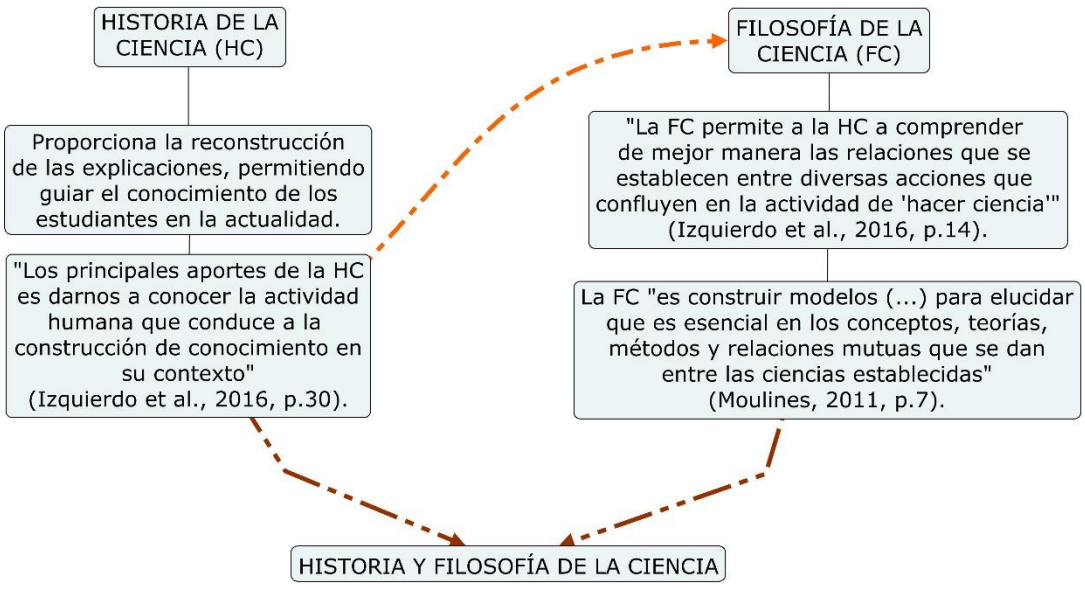


Nota: Elaboración propia

Esta revisión permite resaltar a los investigadores principales a nivel mundial, quienes aparecen de manera directa (como primeros autores) o indirecta (como coautores) en diferentes documentos relacionados con el uso de la HFC en las aulas. Entre ellos se encuentran Michael R. Matthews, Xiaoming Shi, Elder Sales Teixeira, Ileana María Greca, Irene Arriassecq y Agustín Adúriz-Bravo, entre otros. Asimismo, es importante mencionar el artículo El enfoque histórico-filosófico y la didáctica de la ciencia – A 60 años de la publicación de La estructura de las revoluciones científicas, de Ginnobili (2022), que resalta la importancia de la HFC en la enseñanza de las ciencias para la comprensión del conocimiento científico.

Es fundamental esclarecer el uso que se le da a la Historia y Filosofía de la Ciencia en la enseñanza de las ciencias, puesto que esta debería abordarse desde las primeras etapas de la educación. Conocer no solo la historia del conocimiento, sino también la interpretación de los contextos socioculturales y políticos que acompañaron el desarrollo del conocimiento científico permite forjar un interés por las ciencias. Por ende, la HFC debe constituirse en un campo investigativo en constante transformación y renovación, que conlleve a una mejor comprensión de las ciencias y a un mayor interés por ellas en el aula. En consecuencia, la figura 3 muestra la importancia de la relación entre la Historia y Filosofía de la Ciencia.

Figura 3. Relación entre Historia y Filosofía de la Ciencia



Fuente: Elaboración propia.

El uso de la historia de la ciencia permite no solo observar “acontecimientos que pudieron haber sido observables y que una vez lo fueron, aunque ya no lo sean debido a la situación en el pasado. La historia trata también de acontecimientos que nunca fueron ni pudieron ser observados” (Kragh, 1989, p. 79). Por lo tanto, es primordial identificar los parámetros a considerar respecto a cuál es la objetividad de la historia y su explicación, y cómo esta permite reflexionar sobre las formas de investigar en Historia y Filosofía de la Ciencia. La historia no consiste en describir hechos anecdóticos que acompañaron el desarrollo del conocimiento científico; detrás de ella se encuentra una enorme cantidad de acontecimientos que influyeron en su progreso; en este análisis y reflexión, la filosofía de la ciencia cumple un papel fundamental para considerar la HFC en la enseñanza de las ciencias en el aula.

Las investigaciones con enfoque histórico y filosófico que se incorporen en la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria generan interés y comprensión de la ciencia por parte de los estudiantes, dado que muestran que esta no se reduce simplemente a ecuaciones matemáticas, sino que debe entenderse como una construcción desarrollada por la humanidad, inmersa en constantes debates y reflexiones, y siempre susceptible a cambios. En este sentido, autores como Matthews (2018) sostienen que la Historia y Filosofía de la Ciencia es un camino que permite a docentes, estudiantes e investigadores en educación en ciencias comprender los logros, debilidades y fortalezas de las ciencias. Lehavi y Eylon (2018) destacan la importancia de que el diseño curricular incorporado a la HFC sea un proceso de análisis que permita hacer comprensible la ciencia en la educación primaria y secundaria.

Bächtold y Munier (2019) destacan que los experimentos históricos contribuyen a comprender la complejidad de los conceptos, y que la Historia y Filosofía de la Ciencia favorece la enseñanza y el aprendizaje del concepto estudiado. Asimismo, Wei y Wang (2021) sugieren que la experimentación centrada en la historia de la ciencia proporciona herramientas para comprender la naturaleza de la ciencia y el proceso de desarrollo del conocimiento científico. En esta misma línea, Almeida y García (2023) argumentan que los análisis históricos y filosóficos de los experimentos permiten entender la construcción del conocimiento científico como un proceso dinámico de debates y contextos.

Liu et al. (2023) afirman que el uso de la Historia y Filosofía de la Ciencia contribuye al aprendizaje de conceptos complejos. No obstante, es importante resaltar la necesidad de tener

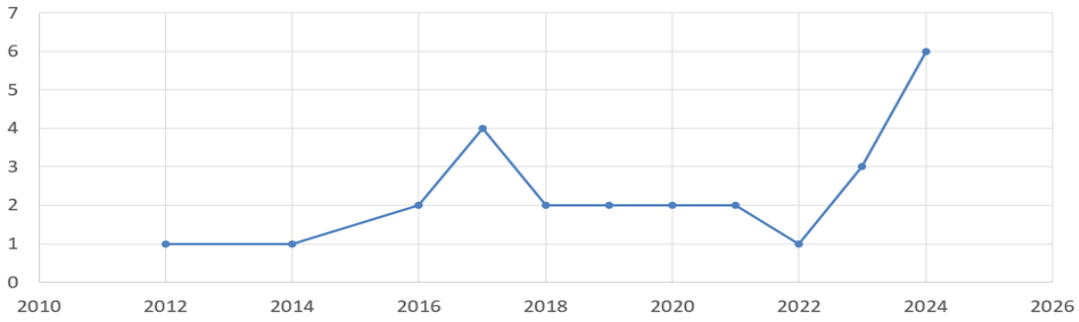
claridad respecto a los objetivos de enseñanza y a las habilidades que permitan una comprensión profunda de los conceptos científicos, reiterando así la importancia de la formación docente en perspectivas históricas y filosóficas de la ciencia.

Arriassecq y Guridi (2020) resaltan la importancia del uso de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la enseñanza, dado que permite a los estudiantes pensar críticamente y analizar los contextos socioculturales e históricos. No obstante, también subrayan la relevancia que debe tener la formación docente en este campo. Por último, Freire (2025) argumenta que la HFC contextualiza la ciencia y la hace comprensible para los estudiantes, generando interés hacia ella y permitiendo así promover cambios educativos y sociales frente a los retos del siglo XXI.

Espacio-tiempo (ET)[2]

La revisión de literatura en esta categoría permite evidenciar las investigaciones sobre la enseñanza y comprensión del espacio-tiempo, inmerso en la Teoría de la Relatividad. Tras la búsqueda en las bases de datos mencionadas anteriormente, se constituyó un corpus de 26 documentos, uno correspondía a una tesis de maestría, otro a una tesis doctoral y los restantes a artículos publicados en diferentes revistas.

Figura 4. Publicaciones por año en relación con la Teoría de la Relatividad y/o espacio-tiempo



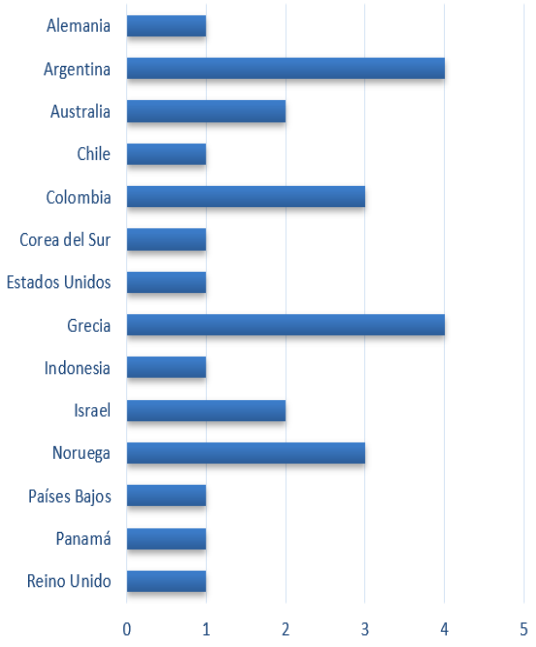
Nota. Elaboración propia

[2] Una versión preliminar se encuentra publicada en Ortiz, E., & Tuay, R. (2024). El espacio-tiempo en la enseñanza de la física. CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica, 21(3), E8–E19. https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.3.2e.2

Teniendo en cuenta los resultados y según las ecuaciones de búsqueda establecidas, en la figura 4 se observa el interés por llevar al aula la enseñanza de la Teoría de la Relatividad y, de manera directa o indirecta, la comprensión del espacio-tiempo. Sin embargo, es importante señalar que durante el transcurso del año 2025 no se hallaron investigaciones explícitas que se articularan con la educación secundaria. Por lo tanto, se evidencia que, aunque son pocas, existen posturas orientadas a incluir estas temáticas en los niveles de la educación secundaria y, de este modo, contribuir a la comprensión del conocimiento científico.

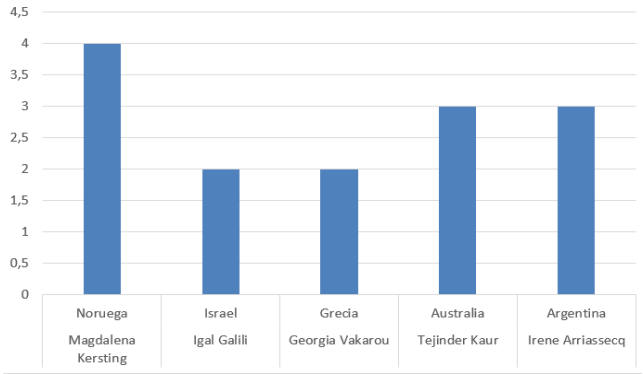
En la figura 5, y teniendo en cuenta el país de filiación del primer autor, se observa a nivel mundial la preocupación e interés por introducir la Teoría de la Relatividad, junto con sus diferentes conceptos y retos de comprensión, en la educación secundaria. En esta revisión se destacan los investigadores principales a nivel mundial (figura 6), quienes aparecen de manera directa (como primeros autores) o indirecta (como coautores) en diferentes documentos relacionados con el acercamiento y la comprensión de la TR. Entre ellos se encuentran Magdalena Kersting (Noruega), Irene Arriassecq (Argentina), Tejinder Kaur (Australia), Georgia Vakarou (Grecia) e Igal Galili (Israel), con una participación en 4, 3, 3, 2 y 2 artículos, respectivamente.

Figura 5. Documentos publicados por país filial primer autor entorno a TR y/o ET



Nota. Elaboración propia

Figura 6. Autores representativos



Nota. Elaboración propia

En el caso de Kersting et al. (2018a, 2018b), señalan que los estudiantes consideran complejo explicar el espacio-tiempo; sin embargo, desde una mirada geométrica les resulta interesante comprender la curvatura de este. Asimismo, plantean que proporcionar recursos de aprendizaje basados en perspectivas socioculturales, históricas y filosóficas, junto con la interacción entre docente, estudiantes y pares, facilita la comprensión de las temáticas que aborda la TR. En esta misma línea, Vakarou et al. (2024) exponen que fomentar desde el aula temáticas de física einsteiniana contribuye a la alfabetización científica y a la formación de ciudadanos más involucrados e interesados en las actividades científicas.

Cayul y Arriassecq (2015) emplean los diagramas de Minkowski para que los estudiantes se acerquen a la comprensión de la Teoría Especial de la Relatividad y, por ende, a la interpretación del espacio-tiempo. Adicionalmente, Arriassecq et al. (2017a, 2017b) consideran que integrar elementos de la Naturaleza de la Ciencia y de las Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) proporciona bases para la comprensión de la Teoría de la Relatividad y permite aproximar a los estudiantes de estos niveles a una física más actual. En esta misma línea, Arriassecq y Greca (2022) sostienen la posibilidad de introducir la enseñanza de la Teoría de la Relatividad, tanto especial como general, en niveles de secundaria y superior, mediante secuencias de enseñanza-aprendizaje que integren aspectos epistemológicos y didácticos, lo cual resulta pertinente para acercar a los estudiantes a la física contemporánea. Sin embargo, es esencial tener en cuenta que, para el abordaje de la TR y la enseñanza de las ciencias, debe considerarse con claridad el concepto de observador, a fin de lograr una interpretación más precisa y significativa de los conceptos y de los marcos de referencia (Stein et al., 2023; Galili, 2024).

Dua et al. (2020) resaltan que la enseñanza de la TR en la educación secundaria puede abordarse desde un enfoque conceptual, sin necesidad de introducir las matemáticas que acompañan esta teoría. En este sentido, un aprendizaje basado en actividades mediante modelos y analogías permite lograr su comprensión en los niveles educativos de secundaria. Kaur et al. (2020) señalan que, al enseñar de manera apropiada los conceptos de física moderna, los estudiantes los perciben como asequibles y comprensibles, reconociendo la importancia de la física einsteiniana para las ciencias. Incluso, Kaur et al. (2024) destacan la relevancia de implementar la física einsteiniana en los currículos, dado que proyecta la modernización de la alfabetización científica y

posibilita que todos participen en la comprensión de la ciencia moderna, promoviendo así la innovación educativa y el interés por la ciencia desde edades tempranas.

No obstante, existen investigaciones doctorales que han profundizado en la percepción del espacio-tiempo desde otras posturas sin enfocarse directamente en la enseñanza. Un ejemplo es la tesis doctoral de Juana Ortiz (2016), titulada *Los elementos del concepto de tiempo aristotélico en la teoría de la relatividad,* investigación enmarcada en el tiempo como concepto bajo la perspectiva aristotélica y su recepción en Newton, Leibniz, Kant y Einstein, para finalmente involucrarse en la teoría especial y general de la relatividad. De igual forma, Favio Cala (2006), en su *trabajo De la relatividad de la inercia a la geometrodinámica intrínseca: una interpretación relacional del espacio-tiempo,* establece este como una teoría relacional, a partir del debate histórico entre Newton, Mach, Leibniz y Einstein, constituyéndose en una fuente para la comprensión de la Teoría General de la Relatividad, parametrizando su estructura matemática

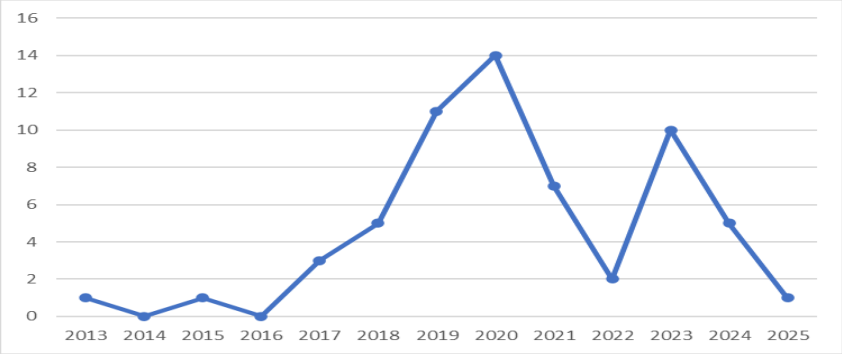
Pensamiento Crítico (PC)[3]

Esta última categoría, correspondiente al Pensamiento Crítico en la Enseñanza de la Ciencia, permite observar la importancia que ha adquirido en la educación secundaria, debido al proceso cognitivo que se requiere para la resolución de situaciones problema. Este no solo posibilita encontrar soluciones, sino que también brinda al pensador crítico una serie de habilidades que le permiten desenvolverse en otras áreas del conocimiento y enfrentarse a la toma de decisiones en los diversos sucesos que pueda encontrar en su formación académica, laboral o cotidiana.

En la figura 7, de la selección de 60 documentos que cumplían con los criterios respecto al Pensamiento Crítico en la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria, se muestra la incidencia correspondiente a cada año dentro de la ventana de búsqueda comprendida entre 2012 y el primer semestre de 2025. Esto evidencia la relevancia que tiene el PC en la ciencia y en la formación de ciudadanos desde las aulas de este nivel educativo.

[3] Una versión preliminar se encuentra publicada en Ortiz, E., Adúriz-Bravo, A. y Tuay, R. (2024). La incidencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias, 19(3), 564-582.* https://doi.org/10.14483/23464712.21496

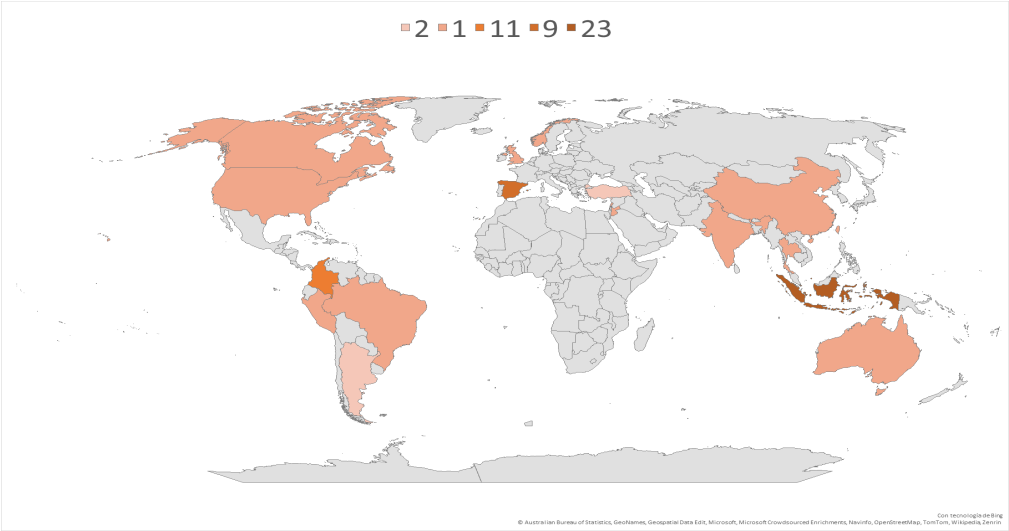
Figura 7. Publicaciones por año con relación al PC en la EC



Nota. Elaboración propia

La importancia del Pensamiento Crítico a nivel mundial es bastante significativa, la figura 8 muestra la relación entre el país de filiación del primer autor de los documentos seleccionados, evidenciando claramente que las habilidades de pensamiento que se desarrollan a través del PC son esenciales en el mundo globalizado.

Figura 8. Relevancia del PC en la EC en el mundo



Nota. Elaboración propia

Partiendo de la revisión realizada por Ortiz et al. (2024), el Pensamiento Crítico en la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria resulta primordial fortalecerlo desde edades tempranas, con el fin de comprender de una manera más clara el conocimiento científico. Aunque las figuras 7 y 8 reflejan que el campo investigativo del PC es relativamente escaso en cuanto a su proyección en este nivel académico, la literatura sobre el PC en otras áreas es bastante abundante;

no obstante, los avances científicos y tecnológicos, así como los cambios socioculturales, requieren de ciudadanos críticos con capacidades para la resolución de problemas complejos.

Esta revisión de literatura sobre el PC permite reflexionar acerca de los alcances y limitaciones que presenta la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria. Sin embargo, también abre caminos para fomentarlo, de modo que los estudiantes indaguen y construyan su propio conocimiento mediante la comprensión de las diferentes teorías científicas, a la vez que contribuye a la formación de ciudadanos críticos y reflexivos.

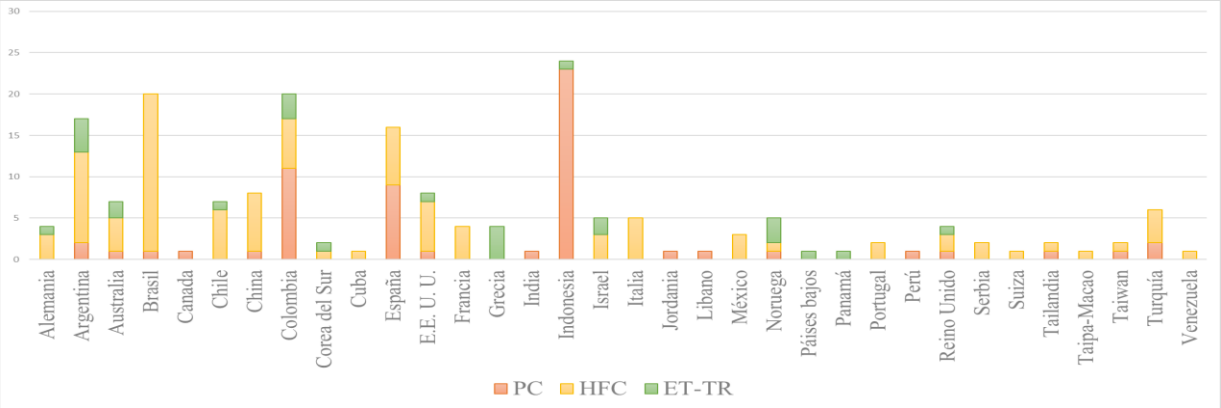
Yacoubian y Khishfe (2018) señalan que el Pensamiento Crítico es fundamental a la hora de tomar decisiones y que la argumentación contribuye a la forma en que los estudiantes emiten juicios en torno a las controversias científicas. Richard et al. (2022) exponen que, mediante la divulgación científica en la escuela, se generan habilidades de experimentación, Pensamiento Crítico y capacidad de asombro en los estudiantes, motivándolos a tener un interés particular por la ciencia. No obstante, es un proceso que requiere tiempo para que ellos puedan adquirir dichas habilidades.

Topsakal et al. (2022) explican la importancia de la resolución de problemas, dado que, más que una habilidad mental, prepara a los estudiantes para enfrentarse al desarrollo constante del siglo XXI; por ello, apuestan por la enseñanza del Pensamiento Crítico mediante las prácticas STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), las cuales permiten generar no solo habilidades e interés por la ciencia, sino también cooperación y trabajo en equipo. Del mismo modo, las cuestiones sociocientíficas vinculadas al Pensamiento Crítico promueven en los estudiantes su desarrollo, gestionando el aprendizaje a través de la metacognición y la reflexión sobre los aspectos que engloban las ciencias (Viehmann et al., 2024; Torres, 2014; Solbes, 2013a, 2013b; Solbes y Torres, 2012).

Astalini et al. (2023) proponen que las actividades experimentales y los contextos cotidianos favorecen el desarrollo del Pensamiento Crítico en los estudiantes, dado que les exigen explicarlos e identificar los hechos y conceptos que los rodean, activando su conocimiento y analizando los procesos científicos para lograr pensar racionalmente. En este sentido, Norris et al. (2023) señalan que los docentes son fundamentales a la hora de promover el Pensamiento Crítico en el aula, orientando a los estudiantes hacia actividades extracurriculares en diferentes áreas.

Además, Kolstø et al. (2024) argumentan que la enseñanza mediante cuestiones auténticas y basadas en la indagación mejora el rendimiento de los estudiantes y sus habilidades de Pensamiento Crítico. Los docentes son primordiales en este proceso, dado que deben generar espacios de discusión y reflexión. En este sentido, Hu y Bi (2025) consideran el PC como una competencia clave en la educación para la comprensión y el desarrollo del pensamiento científico.

Figura 9. Desarrollo de categorías por país filial de los investigadores.



Nota. Elaboración propia

En síntesis, la figura 9 relaciona la revisión de literatura sobre la Historia y Filosofía de la Ciencia, el espacio-tiempo y, por último, el Pensamiento Crítico a nivel mundial, evidenciando que estas categorías se constituyen en un eje transversal y necesario para replantear la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria. Esto permite abordar y enfrentar los nuevos retos que el siglo XXI ha traído consigo. Por tal razón, resulta fundamental la articulación de estas tres dimensiones en la educación secundaria, de modo que los estudiantes desarrollen un razonamiento frente a las ciencias y comprendan el constructo del conocimiento científico y de las leyes que lo acompañan.

Estructurar la HFC y ET para el desarrollo del PC

Partiendo de este panorama, conformado por la Historia y Filosofía de la Ciencia y la discusión en torno al espacio-tiempo, se constituye una base conceptual para desarrollar el Pensamiento Crítico en estudiantes de educación básica secundaria, aportando a la enseñanza de las ciencias y, en especial, a la física.

Dado que los aportes del análisis histórico y filosófico de las ciencias, al profundizar en las concepciones del espacio y del tiempo —tanto absolutistas como relativistas—, permiten comprender la importancia de estos en la construcción del conocimiento científico, incluir la HFC en los contextos escolares conlleva a que los estudiantes inicien el desarrollo y la potenciación de habilidades de pensamiento, en especial del razonamiento inductivo, deductivo y abductivo.

La articulación de contextos históricos y su respectivo análisis desde la filosofía de la ciencia permite al estudiante potenciar el Pensamiento Crítico, en especial la habilidad de razonamiento, dado que esto lo induce a generar reglas de pensamiento considerando qué aspectos de la historia fueron relevantes o no, verdaderos o falsos, para que finalmente construya hipótesis y pueda ofrecer explicaciones no solo sobre el espacio-tiempo, sino también acerca del arduo proceso que implica la construcción del conocimiento científico.

Finalmente, estos elementos contribuyen a esta tesis doctoral y están encaminados a generar nuevas prácticas en la enseñanza de las ciencias, reconociendo la importancia de la educación secundaria en la formación de ciudadanos críticos que logren comprender y fundamentarse en el conocimiento científico. Asimismo, se busca que los estudiantes se involucren en la comprensión y construcción del conocimiento mediante temáticas de la física que han suscitado controversias y que, aún en la actualidad, continúan siendo de gran interés investigativo en cuanto a su comprensión y aplicación.

Pregunta problema

¿De qué manera la Historia y Filosofía de la Ciencia aportan condiciones para el desarrollo del Pensamiento Crítico a partir de la configuración del espacio-tiempo en estudiantes de educación secundaria?

Objetivo General

Analizar los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la configuración del espacio-tiempo para el desarrollo del Pensamiento Crítico en estudiantes de educación secundaria.

Objetivos específicos

- ✓ Identificar los enfoques teóricos del espacio-tiempo en la Historia y Filosofía de la Ciencia.
- ✓ Establecer las relaciones entre la Historia y Filosofía de la Ciencia y el Pensamiento Crítico en la educación secundaria.
- ✓ Caracterizar el razonamiento como habilidad de Pensamiento Crítico en el aula, a partir de la configuración del espacio-tiempo desde el escenario de la Historia y Filosofía de la Ciencia.

Capítulo II

> *La capacidad de comprender antes de ver constituye el corazón del pensamiento científico. En la antigüedad, Anaximandro comprendió que el cielo continúa bajo nuestros pies antes de que hubiera barcos que dieran la vuelta a la Tierra. En los comienzos de la era moderna, Copérnico comprendió que la Tierra gira antes de que hubiera astronautas que la vieran girar desde la Luna. Del mismo modo, Einstein entendió que el tiempo no trascurre de manera uniforme antes de que hubiera relojes los suficientemente precisos para medir la diferencia* (Rovelli, 2018, p. 16).

A continuación, se abordará cómo la concepción del espacio-tiempo ha sido configurada históricamente no como un simple concepto, sino como una entidad que ha generado controversias en la física debido a su interpretación al momento de postular diferentes teorías. El espacio-tiempo puede considerarse como una coordenada matemática que resuelve las problemáticas del movimiento o como una estructura teórica que permite explicar un fenómeno físico.

Sin embargo, este es entendido como una entidad inseparable y constitutiva, inherente a la ciencia, cuya transformación en su comprensión y explicación ha suscitado controversias, así como debates epistemológicos y ontológicos que han aportado elementos para un mejor entendimiento del Universo. En este sentido, el espacio-tiempo, desde la mirada histórica y filosófica de la física, dio lugar a discusiones en torno a su naturaleza, lo que condujo al surgimiento de una nueva teoría científica a comienzos del siglo XX, la Teoría Especial de la Relatividad (TER), la cual integró una nueva perspectiva sobre la comprensión del espacio-tiempo, marcando un hito en la historia de la física.

La configuración del espacio-tiempo

En la historia de la física han existido diversos momentos que han transformado la manera de ver y comprender esta ciencia, dando lugar a agudos debates en torno a las explicaciones de

ciertos conceptos o entidades consideradas fundamentales, como lo es el espacio-tiempo. La interpretación de esta ha estado ligada a rupturas epistemológicas (Bachelard, 1991) o a cambios paradigmáticos (Kuhn, 2013) que han modificado y permitido la evolución científica.

Uno de estos momentos clave se atribuye a Albert Einstein, cuando publicó en 1905 su artículo *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* [Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento]. Allí inició una nueva concepción del espacio-tiempo, unificándolos en una sola entidad y cambiando la percepción absolutista de Newton que había prevalecido durante años. Stachel (2011) señala que Einstein "logró resolver mediante un análisis crítico los fundamentos cinemáticos de la física, la teoría del espacio y del tiempo" (p. 78).

Einstein demostró que tanto el espacio como el tiempo no son entidades independientes del observador, sino que dependen del sistema de referencia desde el cual se realice la medición. En su artículo parte de la construcción ideal de relojes sincronizados ubicados en los extremos de una varilla. Como él mismo señala "Supongamos además que en los dos extremos de la varilla (A y B) hay relojes instalados, los cuales están sincronizados con los relojes del sistema en reposo"[4] (Einstein, 1905, p. 896).

Es allí donde Einstein emprende un riguroso recorrido para evidenciar que la sincronización de relojes es una percepción relativa, lo que un observador en reposo señala será diferente para aquel que se encuentre en movimiento. Los observadores que se mueven junto con la varilla, donde previamente se habían sincronizado los relojes, ya no la percibirán como tal. En palabras de Einstein "Los observadores que se mueven con la varilla encontrarían que los dos relojes no marchan sincronizados, mientras que los observadores en el sistema en reposo los considerarían como sincronizados"[5] (Einstein, 1905, p. 897).

Los experimentos mentales (Gedankenexperimente) que Einstein utilizaba para la explicación de sus teorías le permitieron analizar que la simultaneidad no es absoluta y depende del marco de referencia. En consecuencia, el tiempo tampoco es homogéneo para todos y, además, el espacio no constituye una estructura que simplemente contiene los eventos, ambos conforman

[4] „Wir denken uns ferner an den beiden Stabenden (A und B) Uhren angebracht, welche mit den Uhren des ruhenden Systems synchron sind".
[5] „Mit dem bewegten Stabe bewegte Beobachter würden also die beiden Uhren nicht synchron gehend finden, während im ruhenden System befindliche Beobachter die Uhren als synchron laufend erklären würden".

una entidad única que se relaciona y depende del sistema de referencia del observador, en reposo o en movimiento. De este modo, el espacio-tiempo no solo describe el mundo, sino que participa activamente en todo su fundamento.

Sin embargo, para comprender por qué el enfoque de Einstein sobre el espacio-tiempo resulta tan crucial en la historia y filosofía de la física, es necesario caracterizar el trasfondo desde el cual emergieron las interpretaciones filosóficas y científicas acerca del espacio y del tiempo. Estas concepciones no solo constituyen el fundamento que le permitió a Einstein formular una nueva teoría física, sino que además revelan cómo el conocimiento científico se ha transformado y evolucionado mediante discusiones filosóficas a lo largo de la historia.

Fundamentos históricos y filosóficos del espacio y del tiempo

La concepción del espacio y del tiempo ha sido interpretada de diversas formas a lo largo de la historia, a partir de desarrollos tanto filosóficos como metafísicos, los cuales han constituido un fundamento conceptual para el avance de la física. Es pertinente aclarar que el objetivo no es seguir ni establecer un orden cronológico de cómo se desarrolló el pensamiento sobre el espacio y el tiempo, ni abarcar la totalidad de autores que han reflexionado sobre este tema; en cambio, se hará referencia a algunos pensadores representativos como Aristóteles, Plotino, Platón, San Agustín, Galileo, Newton, Leibniz, Kant, Mach, Husserl, Heidegger, Poincaré y Minkowski.

Es importante señalar, además, que el conocimiento no fluye de manera lineal ni acumulativa, sino que se configura a partir de rupturas y cambios de paradigma que posibilitaron, en parte, nuevas formas de interpretación. Es así como, una reconstrucción de los distintos planteamientos permite comprender cómo se han transformado y configurado las concepciones del espacio y del tiempo, las cuales sentaron las bases teóricas y epistemológicas que hicieron posible, en parte, la formulación de Einstein en la Teoría de la Relatividad.

En este marco interpretativo del espacio y del tiempo, Aristóteles (1995) afirmaba que “el lugar de una cosa es el primer límite inmóvil de lo que la contiene” (p. 240). De este modo, expresaba que el espacio o lugar (*tópos*) no es algo geométrico, por el contrario, es una propiedad real que posee un cuerpo en relación con otro; así, aunque los cuerpos se desplacen, el lugar

permanecerá inmóvil. Asimismo, para Aristóteles el tiempo proviene del cambio "no hay tiempo sin movimiento ni cambio (…) el tiempo no es un movimiento, pero no hay sin movimiento (…) percibimos el tiempo junto con el movimiento" (p. 269). El tiempo no es una sustancia, este surge de la experiencia del cambio en el movimiento; aunque tiempo y movimiento no son lo mismo, el tiempo constituye una medida de los cambios que ocurren en el mundo.

Es así como Aristóteles presenta una noción relacional del espacio y del tiempo, no como conceptos independientes, sino como realidades que surgen mediante la experiencia y el cambio. El *tópos* no puede trasladarse, "porque como totalidad es inmóvil" (p. 240), y el tiempo es un "número del movimiento según el antes y después" (p. 271), lo cual supone una manera de contar instantes mediante la percepción del cambio. En este sentido, se evidencia, de manera indirecta, la conexión entre el espacio y el tiempo como realidades que dependen del movimiento.

Lo anterior muestra cómo Aristóteles sentaba las bases de la concepción del espacio y del tiempo, las cuales enmarcaba desde la experiencia del cambio y la relación entre los cuerpos. Esto condicionó durante siglos la comprensión del mundo en la física y en la filosofía natural. Sin embargo, la continua interpretación del espacio y del tiempo a lo largo de los años fue discutida, alejándose de la perspectiva aristotélica y constituyendo un nuevo significado en la física actual.

En el texto Sobre la eternidad y el tiempo, de *Enéadas* (1985), y alejándose de la perspectiva física aristotélica, Plotino establece una mirada ontológica y espiritual en la comprensión del mundo, en la cual el espacio es una condición del alma y el tiempo una imagen de la eternidad, que no nace de lo inteligible, sino de la sensibilidad. Tanto así, que expresa: "el tiempo es la vida del alma en movimiento de transición de un modo de vida a otro" (p. 223). De este modo, relaciona el tiempo con el alma y no con el mundo exterior.

Platón (1872), en el *Timeo*, propone el espacio y el tiempo desde una ontología eterna e inteligible que deviene de lo sensible y cambiante. El espacio es concebido como un recipiente o contenedor, un receptáculo eterno, al que denomina "nodriza de todo lo que pasa o deviene (…) naturaleza invisible sin forma, que no cae bajo los sentidos; perceptible sólo a una especie de razón bastarda, y que puede llamarse el espacio, el espacio eterno" (p. 135). De este modo, se entiende como una condición para que los cuerpos estén o no con sus cualidades, sin que el espacio mismo se altere.

Asimismo, el tiempo, entendido como algo inexistente por sí mismo, es creado mediante el movimiento de los astros para reflejar el orden del mundo inteligible. Platón expresa que "Dios le dio el tiempo, móvil imagen de la inmoble eternidad, y colocó en el cielo (…) el Sol, la Luna y los otros cinco astros errantes, destinados a fijar y mantener los números que le miden" (p. 134). En este sentido, tanto el espacio como el tiempo surgen para la organización del Universo, nacen junto con el mundo físico y con la racionalidad que constituye el cosmos.

En contraste, Agustín de Hipona (2010), varios siglos después, presenta una interpretación distinta del espacio y el tiempo desde una perspectiva teológica, en la que sostiene que estas realidades se viven desde el alma, aunque siempre bajo la eternidad divina. Este filósofo señala "¿Qué es entonces el tiempo…? Si nadie me plantea la cuestión, lo sé. Si quisiera explicarla a quien la plantea, no lo sé" (p. 560). Definir el tiempo resulta una tarea compleja, motivo por el cual lo identifica como una experiencia del alma que abarca pasado, presente y futuro "de hecho, estos tres son algo que está en el alma y no los veo en otra parte" (p. 567).

Además, Agustín de Hipona se opone a la idea de que el tiempo sea consecuencia del movimiento de los astros "que nadie me diga que el movimiento de los cuerpos celestes es el tiempo" (p. 571), y afirma que "el tiempo no es el movimiento de los cuerpos" (p. 573). Esta postura la sustenta en que el tiempo existe en el alma, no en los astros; es inseparable de la conciencia, la cual no posee una autonomía física. En cuanto al espacio, sostiene que no existía antes de la creación, "¿Cómo has hecho, Dios, el cielo y la tierra? (…) porque no había lugar en el que pudiera hacerse antes de que se hiciera para así existir" (p. 552). De este modo, determina que el espacio proviene de la creación, no tiene existencia propia y constituye una realidad del mundo sensible y de Dios.

Estas perspectivas han sido fundamentales para la interpretación del espacio y del tiempo; las miradas ontológica, relacional, teológica y metafísica que han precedido desde la antigüedad sientan las bases conceptuales para su desarrollo y evolución, en siglos en los que fueron concebidos como conceptos abstractos que, con el tiempo, se fueron transformando hasta dar lugar a las teorías físicas. Este panorama no solo permite identificar las rupturas epistemológicas que han transformado el conocimiento, sino también evidenciar cómo el pensamiento científico ha trascendido para comprender de manera racional el funcionamiento del Universo. El espacio y el

tiempo constituyen una construcción histórica rodeada de preguntas fundamentales, a las cuales se han ofrecido respuestas desde diferentes perspectivas y ramas del saber.

La transformación del espacio y del tiempo en la física clásica

Las interpretaciones filosóficas del espacio y del tiempo, a lo largo de la historia, han caracterizado el pensamiento científico en la física. Durante siglos, estas nociones se consagraron a partir de la experiencia del alma y del movimiento de los astros, hasta que fueron replanteadas para otorgar una nueva percepción a la física actual. El espacio y el tiempo, al apartarse de explicaciones metafísicas y teológicas, dieron paso a la necesidad de observación, de experimentación y de la formulación de leyes físicas que permitieran comprender el Universo. Esto posibilitó su reconfiguración como entidades fundamentales para explicar el comportamiento de los fenómenos físicos.

Una de las ideas que sirvió de base para configurar una nueva interpretación del espacio y del tiempo fue propuesta por Galileo Galilei. Él no define el espacio y el tiempo como entidades abstractas ni metafísicas, simplemente los vincula con el movimiento, a través de una relación matemática para describirlo. De allí nace lo que hoy se conoce como el principio de relatividad de Galileo; apartándose de la física aristotélica, plantea el experimento mental del barco.

> Enciérrate con algún amigo en el camarote más grande bajo cubierta de algún gran barco, y ten allí algunas moscas, mariposas y pequeños animales voladores similares; que haya también un recipiente grande con agua, con algunos peces pequeños en él; que también un pequeño cubo esté suspendido arriba, que irá vertiendo agua gota a gota en otro recipiente con una boca estrecha, que está colocado debajo; y con el barco parado, observa cuidadosamente cómo esos pequeños animales voladores van con igual velocidad hacia todas las partes del camarote; se verá que los peces van indistintamente en todas direcciones; las gotas que caen entrarán todas en el recipiente de abajo; y tú, al arrojar algo a tu amigo, no tendrás que arrojarlo con más fuerza hacia un lado que hacia otro, cuando las

> distancias sean iguales; y saltando, como dicen, con los pies juntos, pasarás espacios iguales hacia todos los lados[6] (Galilei, 2013, pp. 111-112).

Desde este planteamiento se inicia una interpretación del sistema inercial, un movimiento uniforme en el cual ningún fenómeno que se presente dentro del barco permite considerar un estado de reposo absoluto. Galileo afirma que todos los comportamientos en su interior se mantendrán tanto si el barco está en reposo como si se encuentra en movimiento uniforme.

> Cuando hayas observado cuidadosamente todas estas cosas, aunque no haya duda de que mientras el barco esté parado no deben suceder de esta manera, haz que el barco se mueva con la velocidad que quieras; porque (siempre que el movimiento sea uniforme y no fluctúe aquí y allá) no reconocerás el más mínimo cambio en todos los efectos nombrados, ni podrás entender por ninguno de ellos si el barco está en movimiento o está parado[7] (p.112).

De este modo, se muestra que el movimiento uniforme no altera los cuerpos y que tanto el espacio como el tiempo solo adquieren sentido en la medida en que se relacionan con los objetos, y no como entidades absolutas. Aunque Galileo no define el absolutismo, sí introduce la idea de las posiciones relativas.

> Y toda esta correspondencia de efectos se debe a que el movimiento del barco es común a todas las cosas que contiene y también al aire, por lo que dije que se estaba bajo cubierta; porque cuando se está en la cubierta y en el aire abierto y no siguiendo el curso del barco, se verían diferencias más y menos notables en algunos de los efectos mencionados: y no hay duda de que el humo se quedaría atrás, tanto

[6] "Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non piú gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti".

[7] "Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder cosí, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma".

> como el aire mismo; las moscas y las mariposas, igualmente impedidas por el aire, no podrían seguir el movimiento del barco cuando se separaran de él por un espacio considerable; pero al permanecer cerca, porque el propio barco, como construcción hueca, lleva consigo parte de su aire cercano, seguirían la nave sin obstáculos ni fatiga, y por una razón similar, a veces vemos, al correr el correo, que las moscas molestas y los tábanos siguen a los caballos, volando ahora en esta parte y ahora en otra parte del cuerpo; pero en las gotas que caen, la diferencia sería mínima, y en los saltos y en los proyectiles pesados, totalmente imperceptible[8] (p.112).

Galileo muestra que el movimiento de todos los cuerpos que se encuentren dentro del barco será igual al de este; ello condujo a plantear que tanto el espacio como el tiempo no son fijos, sino que varían de acuerdo con el estado del sistema. Esta idea, siglos después, sería retomada para unificar el espacio y el tiempo en una sola entidad, independiente de los sistemas de referencia con observadores en movimiento.

Las ideas galileanas fueron retomadas y formalizadas matemáticamente por Isaac Newton en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687). Sin embargo, Newton postuló tanto el espacio como el tiempo como conceptos absolutos, verdaderos y matemáticos. Esta estructura le permitió formular las leyes del movimiento, conocidas hoy como las Leyes de Newton. Por consiguiente, define...

> I. El tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí y por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se llama duración; el relativo, aparente y vulgar, es una medida sensible y externa de cualquier duración, mediante el movimiento (sea la medida igual o desigual) y de la que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año. (Newton, 2013, p. 127).

[8] "E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che per ciò dissi io che si stesse sotto coverta; ché quando si stesse di sopra e nell'aria aperta e non seguace del corso della nave, differenze piú e men notabili si vedrebbero in alcuni de gli effetti nominati: e non è dubbio che il fumo resterebbe in dietro, quanto l'aria stessa; le mosche parimente e le farfalle, impedite dall'aria, non potrebber seguir il moto della nave, quando da essa per spazio assai notabile si separassero; ma trattenendovisi vicine, perché la nave stessa, come di fabbrica anfrattuosa, porta seco parte dell'aria sua prossima, senza intoppo o fatica seguirebbon la nave, e per simil cagione veggiamo tal volta, nel correr la posta, le mosche importune e i tafani seguir i cavalli, volandogli ora in questa ed ora in quella parte del corpo; ma nelle gocciole cadenti pochissima sarebbe la differenza, e ne i salti e ne i proietti gravi, del tutto impercettibile".

La postura de Newton acerca del tiempo evidencia que lo concibe como algo real e invariante, un tiempo absoluto, condición necesaria para describir de manera exacta el movimiento, independiente de los sucesos y de su duración. Asimismo, considera…

> II. El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil; el relativo es cualquier cantidad o dimensión variable de este espacio, que se define por nuestros sentidos según su situación respecto a los cuerpos, espacio que el vulgo toma por el espacio inmóvil: así, una extensión espacial, subterránea, aérea o celeste definida por su situación relativa a la Tierra. El espacio absoluto y relativo son el mismo en especie y magnitud, pero no permanecen siempre el mismo numéricamente (p. 127).

Newton concibe el espacio como una base independiente para las leyes del movimiento. homogéneo e inmóvil, que no depende de los objetos y constituye un escenario fijo, una realidad medible desde las matemáticas. No se trata, por tanto, de una propiedad emergente ni de una cualidad de los objetos. En consecuencia…

> Pues el tiempo y el espacio son lo cuasi-lugares de sí mismos y de todas las cosas. Todas las cosas se sitúan en el tiempo en cuanto al orden de la sucesión y en el espacio en cuanto al orden de lugar. Es de su esencia el ser lugares y es absurdo pensar que los lugares primeros se muevan. Por tanto, esos son lugares absolutos y únicamente las traslaciones desde estos lugares son movimientos absolutos (p. 129).

En este sentido, el espacio y el tiempo no se entienden como relaciones entre cosas, sino como estructuras absolutas que constituyen las condiciones para que algo se sitúe en un lugar y en un momento determinados. En efecto, las posturas de Galileo y Newton representaron una transformación en la interpretación antigua del espacio y del tiempo, al describirlos para la formulación de las leyes de la naturaleza. Este absolutismo newtoniano prevaleció durante un par de siglos; sin embargo, fue y sigue siendo objeto de debates filosóficos y científicos en torno a la ontología del espacio y del tiempo, de los cuales surgieron nuevas interpretaciones y contradicciones frente a las ya planteadas; dichas discusiones aportaron atributos al desarrollo del

conocimiento y resaltaron la importancia de proponer nuevas teorías para la comprensión de las leyes ya establecidas.

La concepción del espacio y del tiempo absolutos bajo la mirada de Newton continuó siendo objeto de constantes críticas en la historia de la física. Gottfried Wilhelm Leibniz, rival y opositor de las ideas de Newton (Ruiz, 2014), generó un intenso debate frente al absolutismo. Leibniz sostenía una postura relacional y racional, en la que consideraba al "espacio como orden de coexistencia y al tiempo como orden de sucesiones" (Rada, 1980, p. 40). Esta perspectiva desató una disputa con Samuel Clarke, partidario de las ideas newtonianas, controversia que en la actualidad se conoce como la polémica Leibniz-Clarke; esta polémica no solo contribuyó a identificar las posturas que se fueron configurando frente a la concepción del espacio y del tiempo, también aportó al desarrollo filosófico y científico del siglo XVIII, fomentando de manera indirecta futuras interpretaciones que trascenderían en nuevas teorías físicas; la diferencia fundamental radica en que, para Newton, el espacio y el tiempo eran realidades absolutas, mientras que, para Leibniz, estas eran ideales y no propiedades de las cosas (Rada, 1980).

Cardani (2012) señala que la polémica entre Leibniz y Clarke permite evidenciar el contraste ontológico del espacio y del tiempo, lo que posibilita analizar cómo se comprende el mundo. Destaca que, para Leibniz, el espacio es el orden de los cuerpos a través de sus relaciones "tiene que ser entendido como la proporción matemática del orden relacional de las cosas" (p. 60). El espacio puede expresarse matemáticamente, pero no constituye una entidad real, pues se representa mediante la coexistencia entre los cuerpos; de manera análoga, el tiempo es el orden de las sucesiones y no fluye independientemente de las cosas.

Leibniz, bajo su postura de total cuestionamiento y oposición a las ideas del absolutismo newtoniano, señalaba que algunos pensadores "sostienen que el espacio es un real y absoluto (…) hay quienes han creído que era el mismo Dios" (Rada, 1980, p. 67). Con ello, resaltaba que en la postura newtoniana se encubría una dimensión divina. Sin embargo, Clarke le refutaba afirmando que "el espacio no es un ser, un ser eterno e infinito, sino una propiedad, o una consecuencia de la existencia de un ser infinito y eterno. El espacio infinito es la inmensidad. Pero la inmensidad no es Dios y, por lo tanto, el espacio infinito no es Dios" (p. 73). Esta gran discusión entre ambos permite analizar cómo se concebían el espacio y el tiempo, así como el mundo y la propia interpretación de la ciencia; mientras Clarke defendía la realidad y existencia del espacio y el

tiempo absolutos, Leibniz consideraba esta postura como algo metafísico que se alejaba de la racionalidad.

La discrepancia entre Newton y Leibniz acerca de sus posturas sobre el espacio y el tiempo marcó un hito en la historia de la física, pues reveló dos modos distintos de pensar y de construir conocimiento. El filósofo Ernst Cassirer afirma que "Newton, como físico, partió del estudio de los hechos, mientras que Leibniz, como lógico, partió del estudio de las formas[9]" (Lomonaco, 2024, pp. 88-89), lo que deja entrever estilos de razonamiento diferenciados tanto en la ontología como en la epistemología del espacio, del tiempo y del conocimiento. Esto conlleva a continuar el debate histórico acerca de la interpretación de estos conceptos y a considerarlos como entidades cuya influencia se ha extendido a diferentes ramas del saber; la forma de concebir el espacio y el tiempo no solo desemboca en la formulación de leyes físicas, además muestra su papel en la configuración de la comprensión del mundo y en la explicación de los fenómenos.

Filosofía y Ciencia en la interpretación del espacio tiempo

A lo largo de la historia, como se ha venido mostrando, la interpretación del espacio y del tiempo ha estado sujeta a diferentes perspectivas filosóficas, ontológicas, teológicas y físicas; estas han sido objeto de profundas reflexiones que no solo han aportado al campo científico, sino que también han permitido observar cómo se ha desarrollado el conocimiento para la comprensión del mundo. El espacio y el tiempo se han relacionado con los astros, el alma, entidades absolutas y formas relacionales, lo que evidencia la complejidad de establecer una única constitución teórica de estas categorías.

No obstante, estas reflexiones e interpretaciones dieron indicio de la continua transformación en las concepciones del espacio y del tiempo, lo que permitió reconfigurar sus fundamentos e instaurar una manera diferente de pensar la naturaleza de los fenómenos. El papel del observador, las condiciones del sistema y la propia experiencia posibilitaron reconocer que la ciencia y la filosofía están entrelazadas para articular la visión del espacio y del tiempo con la estructura de la comprensión activa del mundo.

[9] "Newton, in quanto fisico, partì dallo studio dei fatti, mentre Leibniz, in quanto logico, dallo studio delle forme".

En este sentido, Kant establece un punto clave para la interpretación del espacio y del tiempo, al argumentar que estos no son absolutos ni derivan de la experiencia sensible, sino que constituyen estructuras a priori del sujeto; pretende así demostrar que "el espacio absoluto, independiente de la existencia de toda materia, y, asimismo, como razón primera de la posibilidad de su composición, tiene una realidad propia" (Kant, 2014, p. 14), fundamentando que el espacio es una condición interior del sujeto que le permite percibir los fenómenos. En esta línea, expresa que "el espacio no es algo objetivo ni real, ni sustancia, ni accidente, ni relación, sino algo subjetivo e ideal, que brota de la mente, según ley estable" (p. 91), postulando que tanto el espacio como el tiempo provienen de estructuras mentales, de la intuición que organiza toda experiencia posible, lo cual hace viable la comprensión de los fenómenos y del mundo.

Además, Kant profundiza y resalta que el tiempo no deviene de la experiencia, sino que la precede y, al mismo tiempo, la condiciona, exponiendo que "la idea de tiempo no nace de los sentidos, sino que es supuesta por ellos (…) la idea de tiempo es una intuición (…) que es concebida previamente a toda sensación (…) es un principio formal, absolutamente primero, del mundo sensible" (pp. 79-87). Estas consideraciones acerca del tiempo permiten afirmar que, para Kant, el tiempo no es una propiedad ni posee un flujo independiente de los hechos, señala que proviene de la sensibilidad interna; es decir, si no existiera una intuición previa a la experiencia, no habría una percepción coherente del cambio; de este modo, lo postula como un "principio formal" indispensable para la comprensión del mundo.

Kant sostiene que el espacio tampoco se deriva de la experiencia, afirmando que el "espacio no es abstraído de las sensaciones externas (…) es una intuición pura" (p. 89); al igual que el tiempo, constituye un principio formal del mundo sensible, una estructura previa e inherente a la mente que le permite organizar toda percepción en relación con los objetos. Este principio formal otorga orden y coherencia a lo que se capta a través de los sentidos; del mismo modo, Kant considera tanto el espacio como el tiempo como condiciones internas necesarias para que el mundo pueda ser percibido y conocido, permitiendo así la constitución e interpretación del conocimiento que rodea al ser humano, el espacio, siempre presente, organiza la experiencia.

En resumen, se observa que tanto Leibniz como Kant se alejan de la postura absolutista de Newton respecto al espacio y al tiempo. Sin embargo, la articulación filosófica en la ciencia demuestra su relevancia en la construcción del conocimiento, al ofrecer interpretaciones del

espacio y del tiempo que permiten identificar condiciones estructurales para comprender los fenómenos físicos.

Aunque pudiera pensarse que el conocimiento avanza de manera lineal siguiendo un recorrido histórico, se evidencia que este no se genera así, al contrario, se forja mediante continuas reflexiones y revisiones conceptuales, filosóficas y epistemológicas, además de la necesidad constante de comprender el mundo. Kant aporta formas y explicaciones que, a través de la intuición, permiten representar el espacio y el tiempo para otorgar orden a las estructuras mentales que anteceden a la percepción. De este modo, brinda continuidad y abre el camino a debates críticos en torno a la subjetividad, la experiencia y las leyes de la naturaleza; desde allí se despliegan posibilidades de indagación e investigación sobre las condiciones en que se constituye el conocimiento.

Los planteamientos críticos al absolutismo provenientes de Leibniz y Kant permitieron que surgieran cuestionamientos sobre el espacio y el tiempo, los cuales empezaron a adquirir contextos fenomenológicos. En esta misma línea, Ernst Mach tampoco aceptaba el absolutismo de Newton y sostenía que la física debía alejarse de toda metafísica innecesaria, Stadler (2011) señala que "Mach expresa su rechazo tanto de cualquier concepción metafísica y unilateralmente mecanicista de la física, como de las categorías sintético a priori del movimiento absoluto, del espacio absoluto y del tiempo absoluto en tanto que conceptos sustanciales del todo superfluos" (p. 113). Esta postura le permitió formular su noción de la "economía del pensamiento" (p. 113), según la cual la física debe entenderse y justificarse por su capacidad de organizar los hechos derivados de la experiencia.

Mach propone que la concepción del espacio y del tiempo absolutos no constituye una realidad, estas son abstracciones derivadas de la observación de los fenómenos. Así, el tiempo no es una sustancia ni transcurre por sí mismo, sino que es una construcción que surge de la variación; él expone…

> el tiempo es más bien una abstracción a la que llegamos a través del cambio de las cosas, porque no dependemos de ninguna medida especifica (…) tampoco podemos hablar de un "tiempo absoluto" (independiente de cualquier cambio). Este

> tiempo absoluto no puede medirse por ningún movimiento, por lo que no tienen valor practico ni científico[10] (Mach, 1883, p. 209).

En consecuencia, el tiempo deja de ser concebido como una realidad ontológica para entenderse como una organización conceptual de la experiencia. Asimismo, Mach afirma que "nadie puede decir nada sobre el espacio absoluto y el movimiento absoluto; son meras ideas que no pueden demostrarse mediante la experiencia"[11] (p. 213), reflejando así una fenomenología del espacio y del tiempo en la que todo fenómeno físico debe justificarse a partir de la observación, alejándose de posturas metafísicas.

Ahora bien, la crítica de Mach al espacio y al tiempo absolutos abre el camino a discusiones fenomenológicas, como las planteadas por Edmund Husserl; aunque este se centra en la constitución temporal de la conciencia, sus reflexiones permiten relacionarla con la interpretación del espacio y del tiempo, concebidos como dimensiones fenomenológicas. Para Husserl, el espacio y el tiempo no son entidades empíricas o físicas destinadas a descubrir el mundo, él las considera como estructuras intencionales que surgen de la conciencia. Retomando la idea de Agustín de Hipona, Husserl señala "Naturalmente que todos sabemos qué sea el tiempo; es lo más consabido de todo. Pero tan pronto como intentamos dar cuenta de la conciencia del tiempo (…) nos enredamos en las más extrañas dificultades, contradicciones, confusiones" (Husserl, 2002, p. 25). De este modo, sostiene que ni el espacio ni el tiempo son realidades en sí mismas, son síntesis que se articulan en la corriente de la conciencia.

Es importante resaltar que la fenomenología busca clarificar las estructuras intencionadas que emergen de la conciencia; estas constituyen una descripción directa del aparecer mismo y presuponen un "tiempo objetivo" como proceso de intencionalidad, "Husserl llama (…) series de ahoras [una sucesión de instantes] 'tiempo objetivo', pues ella constituye la forma fija en la cual nos salen al encuentro todos los objetos localizables en el tiempo" (Held, 2009, p. 10). el tiempo objetivo es una estructura de la experiencia intencional. En consecuencia, "quizá resulte aún más

[10] Die Zeit ist vielmehr eine Abstraktion, zu der wie durch die Veränderung der Dinge gelangen, weil wir auf kein bestimmtes Maass angewiesen sind. (…) Ebenso wenig können wir von einer „absoluten Zeit" (unabhängig von jeder Veränderung) sprechen. Diese absolute Zeit kann an gar keiner Bewegung abgemessen werden, sie hat also auch gar keinen praktischen und auch keinen wissenschaftlichen Werth.

[11] „Über den absoluten Raum und die absolute Bewegung kann niemand etwas aussagen, sie sind blosse Gedankendinge, die in der Erfahrung nicht aufgezeigt werden können".

claro lo que significa la desconexión del tiempo objetivo si trazamos un paralelismo con el espacio. No en vano espacio y tiempo presentan analogías harto conocidas y significativas" (Husserl, 2002, p. 27). No obstante, esta relación entre espacio y tiempo no implica que sean equivalentes, dado que el espacio puede ser interpretado desde configuraciones visuales y vivencias imaginarias como una forma de intuición externa. Así lo afirma Husserl "A la esfera de lo fenomenológicamente dado pertenece la conciencia de espacio, es decir, la vivencia en que se lleva a cabo la «intuición de espacio» como percepción y como fantasía" (p. 27).

De modo que la configuración del espacio, más que una extensión física que preexiste a la percepción es una organización interna del contenido sensible; en consecuencia, el fenómeno espacial no corresponde al espacio objetivo de la ciencia —medible en diferentes sistemas de referencia e independiente de la conciencia—, es a un orden en la aparición fenomenológica, e. g. así, Husserl afirma "el fenómeno de la casa no está junto a la casa, ni sobre ella, ni a un metro de distancia de ella, etc." (p. 27). Aquí introduce una distinción fenomenológica que contrasta el objeto empírico con el fenómeno, el objeto aparece en la vivencia perceptiva, pero no ocupa un lugar físico en el espacio objetivo ni constituye una unidad medible, es una forma de darse en la conciencia. Por ende, la fenomenología acá, en lugar de explicar los objetos empíricos, busca describir cómo aparecen y se constituyen dentro del campo de la experiencia vivida.

Ahora bien, al afirmar que "el espacio objetivo, tiempo objetivo, y con ellos el mundo objetivo de las cosas y de los sucesos reales, son sin excepción trascendencias" (p. 28), Husserl muestra que el espacio y el tiempo, desde la ciencia, no se dan en la conciencia, estos son supuestos construidos a partir de la experiencia; de ahí la importancia de que, en el "análisis fenomenológico no cabe hallar el más mínimo rastro de tiempo objetivo" (p. 27). El tiempo debe prescindir de todo supuesto empírico y abordarse fenomenológicamente, Husserl expone que "un análisis fenomenológico de la conciencia del tiempo (…) implica la completa exclusión de cualesquiera asunciones, estipulaciones y convicciones a propósito del tiempo objetivo (…) de lo que existe" (p. 26). Lo temporal es, por tanto, una estructura interna de la conciencia misma, son las condiciones que hacen posible la vivencia del tiempo; Finalmente, Husserl sostiene que…

> En la consideración fenomenológica yo tomo el objeto como fenómeno, estoy dirigido a la percepción, al aparecer y a lo que parece en su correlación. La cosa real existe en el espacio real dura y cambia en el tiempo real, etc. La cosa que

> aparece a la percepción tiene un espacio fenoménico y un tiempo fenoménico. Y a su vez los propios apareceres y todas las configuraciones de conciencia tienen su tiempo, su hora y su extensión temporal en la forma del ahora-antes: es el tiempo subjetivo (p.134).

Por ende, se observa que, desde la fenomenología husserliana, el tiempo se analiza como vivencia estructurante de la conciencia humana y como categoría que organiza el mundo físico, una unidad de tiempo es aquello que ordena las realidades. Este análisis fenomenológico permite comprender que tanto el espacio como el tiempo son modos intencionales que se alcanzan mediante una constitución de sentido en la vida subjetiva. Aunque Husserl se aleje de la interpretación física del espacio y del tiempo, ello no significa que la niegue; más bien, busca otorgarles condiciones que posibiliten su sentido; al distanciarse de la postura absolutista, plantea cambios de paradigma y reflexiones filosóficas que aportan de manera directa al desarrollo del conocimiento científico.

En continuidad con esta fenomenología, Heidegger (1927) presenta una postura de que tanto el espacio como el tiempo no son formas intencionales de la conciencia, estas son estructuras del ser, como él lo interpreta *Dasein* (en el existir, en la hay, ser-ahí), es la manera de como el ser humano está en el mundo. Por consiguiente, el espacio no se entiende como una entidad objetiva ni geométrica, es una experiencia de cercanía y lejanía y el tiempo en una estructura de pasado, futuro y presente, por lo tanto, el espacio y el tiempo no son realidades ni provienen de la conciencia, en este sentido, son condiciones que permiten comprender la existencia. Por consiguiente, el espacio emerge del propio existir, Dasein, así mismo el tiempo no es una sucesión homogénea de instantes, es una estructura ontológica que posibilita el comprender.

Heidegger propone una transformación en la concepción del tiempo, no la determina como algo cuantitativo o cronológico, lo problematiza desde una dimensión existencial, de este modo, la pregunta "¿qué es el tiempo?" se convierte en "¿quién es el tiempo?", e incluso en "¿somos nosotros mismos el tiempo?" y, con mayor precisión, "¿soy yo mi tiempo?" (Heidegger, 1999, p. 9), con ello busca reflexionar que el tiempo es una dimensión constitutiva del ser-ahí, *Dasein*. Asimismo, resalta que el tiempo es una estructura propia del ser humano, que le permite anticipar, tener memoria y proyectarse "el ser futuro da tiempo, forma el presente y permite reiterar el pasado en el 'cómo' de su vivencia" (p. 6). Así, el tiempo se configura como horizonte para la comprensión del mundo, dejando atrás toda objetividad y convirtiéndose en una estructura existencial.

Para finalizar, el recorrido histórico y filosófico desarrollado hasta el momento sobre las concepciones del espacio y del tiempo permite comprender su relevancia en el campo de la ciencia, dado que no pueden entenderse como nociones irrevocables del saber, por el contrario, estas son construcciones que han evolucionado a medida que el ser humano ha buscado indagar sobre su existencia, el mundo y los fenómenos. En esta sección se evidenció que, a partir de la reflexión kantiana del a priori de la intuición, la postura de Mach frente a la abstracción y el distanciamiento de la metafísica, la intencionalidad de la conciencia en Husserl y la ontología de Heidegger, se configura una transformación profunda en la interpretación del espacio y del tiempo; estos ya no son solo condiciones externas del mundo físico; por el contrario, se encuentran vinculados con el ser humano y su mundo. En este marco, lo objetivo y lo subjetivo se entrelazan para dar forma a una estructura que permite comprender tanto los fenómenos como su configuración en el ámbito de la ciencia y la filosofía.

Por lo tanto, la vinculación entre filosofía y ciencia en la interpretación del espacio y del tiempo muestra que, más que una consecuencia matemática, posibilita comprender cómo se ha desarrollado el conocimiento científico y de qué manera este ha profundizado en la explicación del funcionamiento natural. La reflexión filosófica no se opone al mundo científico; por el contrario, ambas dimensiones se articulan, abriendo modos de ver, observar y analizar los fenómenos que permiten la formulación de las leyes físicas. En consecuencia, es importante resaltar que el espacio y el tiempo no son conceptos fijos, en cambio, son construcciones tanto teóricas como históricas que han reconfigurado nuevas formas de pensar y racionalizar; esto ha permitido entrever cómo se ha llegado a construir la ciencia y dar sentido a las teorías que están presentes en la actualidad.

El surgimiento del espacio-tiempo

Hasta el presente, la continua reflexión acerca del espacio y del tiempo a través de la historia evidencia que estos se encontraban vinculados, relacionándolos entre sí; sin embargo, no se establecieron como una sola entidad, aun cuando algunas posturas se alejaban del absolutismo newtoniano, persistía la tendencia a considerarlos como conceptos independientes, sin contemplar una teoría que los tratara como uno solo.

No obstante, la necesidad de nuevas teorías que dieran explicación a los fenómenos experimentales que la física había desarrollado para comprender el mundo —y que ya involucraban velocidades inimaginables, como la de la luz—, además de la importancia de los sistemas de referencia y de la invariabilidad en las leyes de movimiento, generó la exigencia de no tratarlos ni como conceptos ni tampoco por separado, sino como dimensiones entrelazadas en una misma estructura de la realidad. Una de las condiciones de la nueva concepción del espacio-tiempo como unidad surgió de una relectura reflexiva y crítica expuesta en los párrafos anteriores; este surgimiento abrió nuevos horizontes tanto para la filosofía como para la ciencia, en pro de la construcción del conocimiento.

Schlick (2016) resalta que "desde tiempos muy tempranos fue librada por los filósofos una controversia inconcluyente en relación con si el espacio vacío era real o meramente idéntico con la nada" (p. 181), planteando así que la discusión sobre el vacío catapultó el análisis de los conceptos de espacio y tiempo en la física contemporánea. En este contexto, Schlick expone que era más relevante considerar el espacio-tiempo como una estructura relacional producida por interacciones físicas y no como un absoluto sin contenido conceptual. Asimismo, señala que…

> Nadie en efecto, ve el espacio y al tiempo como real en el mismo sentido en el que lo es la silla en la que estoy sentado o el aire que respiro. No puedo tratar con el espacio como con los objetos materiales o con la energía, que puedo transportar de un lugar a otro, manipular a voluntad, comprar y vender. Todo el mundo siente que hay alguna diferencia entre ellos; el espacio y el tiempo son, en un sentido u otro, menos independientes que las cosas que existen entre ellos (p. 181).

Este planteamiento considera que tanto el espacio como el tiempo no son manipulables ni observables directamente; adquieren relevancia en la medida en que dependen de la existencia de los cuerpos. De este modo, la reflexión filosófica que les ha precedido conduce a abandonar la idea de un espacio y un tiempo absolutos, para asumir una epistemología en la que estos se constituyen mediante las relaciones dinámicas de los fenómenos del mundo físico. Por lo tanto, afirma que…

> no podemos hablar del espacio sino hubiera cuerpos materiales; y la concepción del tiempo seria, así mismo, vacía de significado sin ningún evento o

> cambio tomara lugar en el mundo. Pero aun en la mente popular, el espacio y el tiempo no son meramente nada (p. 181.)

De este modo, señala que no es posible reducir el espacio y el tiempo a la nada, aunque tampoco pueden entenderse como conceptos autónomos; son condiciones estructurales que adquieren sentido al relacionarse con los fenómenos, una organización relacional vinculada a los procesos y eventos que constituyen el mundo. En esta línea, Poincaré (1905) presenta un análisis crítico que continúa con la ruptura frente a la admisión de un espacio y un tiempo absolutos, expone que estas entidades se encuentran tanto en la construcción del pensamiento como en la experiencia y las prácticas de la comunidad científica. Inicia, además, con la presunción de unificarlos, determinando que son relacionales y que el absolutismo no se configura en ellos, por lo que deben concebirse como dinámicos e independientes del observador y de sus sistemas de medición.

Poincaré expone "no hay espacio absoluto, y solamente concebimos movimiento relativo; y, aun así, en la mayoría de los casos, los hechos mecánicos están enunciados como si existiese un espacio absoluto al que puedan ser referidos" (p. 59). En consecuencia, se admite que el espacio es un sistema de relaciones materiales y una construcción matemática elegida para la descripción de fenómenos. Sin embargo, aún existen posturas que insisten en mantener el absolutismo newtoniano; asimismo, advierte "no hay tiempo absoluto. Cuando decimos que dos periodos son iguales, la declaración no tiene sentido, y sólo puede adquirir sentido a partir de una convención" (p. 59). Esto conlleva a considerar que el tiempo no se identifica con una existencia objetiva y homogénea ni parte de la intuición, sino que este depende de un conjunto de reglas convencionales que permiten establecer cuándo dos eventos son equivalentes.

De todas formas, atribuye "así, espacio absoluto, tiempo absoluto, e incluso la geometría no son condiciones impuestas sobre la mecánica" (p. 60); desde su concepción epistemológica, estas entidades y la geometría no preceden a las leyes de la mecánica; más bien, se adaptan para la comprensión de los fenómenos de una manera más coherente. Así, la mecánica no depende de estructuras absolutas, por lo que resulta necesario escoger marcos que permitan constituir una ciencia que conserve las leyes según los sistemas de referencia. En consecuencia, "las lecturas que podamos hacer con nuestros instrumentos en cualquier momento dado dependerán únicamente de las lecturas que pudimos hacer sobre los mismos instrumentos en el momento inicial" (p. 53); bajo esta perspectiva, se considera que el espacio y el tiempo deben tratarse como una sola entidad desde

la dinámica, dado que se correlacionan preservando las leyes de transformación entre los sistemas de referencia.

A lo largo de la historia se ha evidenciado la necesidad de identificar la interpretación del espacio y del tiempo para la comprensión del mundo y su importancia en la ciencia, desarrollándolos inicialmente por separado. El absolutismo de Newton, al concebir el espacio como un sistema fijo y el tiempo como un flujo homogéneo e independiente, fortaleció la idea de que ambos debían considerarse de manera aislada; no obstante, las reflexiones de Mach iniciaron una interpretación radical que permitió abandonar este absolutismo e, indirectamente, empezar a concebir el espacio y el tiempo como una unidad. Poincaré asumió también esta tendencia, consolidando una posición que anticipaba el abandono definitivo del absolutismo; finalmente, la Teoría de la Relatividad de Einstein pareció dar cierre a esta discusión, integrando el espacio-tiempo como una entidad única y real, con propiedades físicas.

Este surgimiento de una nueva interpretación fue reafirmado por Minkowski, quien, en la 80ª reunión de científicos naturales en Colonia, en 1908, declaró firmemente que…

> Las ideas de espacio y el tiempo (…) han crecido en terrenos de la física experimental. En ella reside su fuerza. A partir de ahora, el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo, deberán hundirse completamente en las sombras, y solamente una especie de unión de ambos podrá preservar su independencia[12]. (Minkowski, 1908, p. 75).

Así, el espacio y el tiempo dejan de ser conceptos independientes, como se habían concebido en siglos anteriores; la unificación del espacio-tiempo establecida por Einstein determinó no solo un avance matemático, sino también conceptual, configurando una nueva física y mostrando que no todo estaba dicho, la ciencia debía avanzar, transformando la manera de pensar. En este sentido, Paul Heyl (1929) expone "el espacio y el tiempo han sido considerados 'siempre, en todo lugar y por todos' como conceptos independientes, claramente distinguibles entre sí, sin

[12] „Die Anschauungen über Raum und Zeit (…) sin auf experimentell-physikalischen Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. Von Stund' an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren".

correlación alguna entre ellos[13]" (p. 230); sin embargo, también enfatiza "él ha introducido una correlación o vínculo conector entre ideas que siempre se supusieron separadas y distintas (…) Einstein encontró necesario alterar nuestras ideas fundamentales respecto del espacio y el tiempo"[14] (pp. 230, 233). De este modo, los interpreta no como conceptos separados, sencillamente como entidades de investigación y estructuras fundamentales del Universo, que se convierten en uno solo, el espacio-tiempo.

El análisis histórico y filosófico acerca del espacio-tiempo permite comprender la necesidad que dio lugar a la formulación de Einstein y evidenciar que esta no surgió de la nada; por el contrario, fue el resultado de un proceso reflexivo y crítico que muestra una larga evolución del conocimiento, en el que se cuestionaron marcos ontológicos, teológicos y epistemológicos. Cada interpretación, a lo largo de la historia, sirvió como base para concebir una nueva estructura que los unificara como una sola entidad, cuando durante siglos habían sido considerados independientes; esta trayectoria muestra que el pensamiento científico no se desarrolla de manera lineal ni acumulativa, es un diálogo crítico y cuidadoso que va reconfigurando las ideas provenientes de la filosofía y de la ciencia. La demostración del espacio-tiempo como una sola entidad en la física evidencia cómo la transformación conceptual puede surgir de un análisis histórico que abre caminos para la comprensión del mundo.

La herencia del espacio-tiempo

La nueva concepción del espacio-tiempo que propuso Einstein revolucionó la forma de entender la física y el mundo; además de ser una coordenada matemática, se convirtió en una entidad fundamental para describir los fenómenos, pues su geometría ya no era independiente y única, se entrelazaba con los sistemas dinámicos y con los sistemas de referencia del observador. Asimismo, constituyó nuevos debates ontológicos y epistemológicos en torno al espacio-tiempo, el absolutismo newtoniano quedaba fuertemente relegado frente a la nueva teoría, la Teoría de la Relatividad; al respecto, Stachel (2011) expone…

[13] "Space and time have been regarded 'always, everywhere and by all', as independent concepts, sharply distinguishable from one another, with no correlation between them".
[14] "He has introduced a correlation or connecting link between what have always been supposed to be separate and dis-tinct ideas (…) Einstein found it necessary to alter our fundamental ideas regarding space and time".

> el concepto de un tiempo universal o absoluto, sobre el que se basa la cinemática newtoniana, tenía que ser abandonado… [esto conllevo a que] la teoría de la relatividad especial TER proporcionó también a los filósofos abundante material para reflexionar sobre las nuevas ideas de espacio y tiempo (p. 145).

Por consiguiente, la interpretación del tiempo, que se consideraba como un flujo constante e irreversible a través de la vivencia interna, comenzó a contrastar fuertemente con las representaciones modernas de la física; al respecto, Ismael (2017) explica

> Uno de los debates más persistentes, tanto dentro como fuera de la filosofía, sobre la naturaleza del tiempo concierne a la relación de tiempo manifiesto y fluido de la experiencia cotidiana y el tiempo tal como aparece en nuestra mejor física actual, como una dimensión en un conjunto estático de eventos[15] (p. 24).

Esta observación evidencia la discrepancia fundamental que existe entre el tiempo vivido y el tiempo físico; aquí yace la ruptura entre lo ontológico-científico y la estructura que proviene de los sentidos, dado que, en la física, el tiempo es considerado un parámetro sin una dirección fija, mientras que en la cotidianidad se experimenta como un flujo de conciencia y de acción. Sin embargo, estas diferencias mantienen abierto el debate epistemológico esencial ¿qué es el tiempo?

Definir de una manera clara y concisa el tiempo, aun con los diferentes aportes que la historia y la filosofía han brindado, resulta bastante complejo; Ismael (2017) retoma la expresión de John Norton "normalmente terminamos describiendo el paso [del tiempo] con metáforas que resultan circulares y luego, desesperadamente, con gestos"[16] (p. 24). Esto refleja la brecha conceptual existente al intentar determinar si el tiempo proviene de la conciencia o del formalismo físico constante de la experiencia del observador. En paralelo, el espacio también ha sufrido una transformación en su interpretación: antes se concebía como absoluto y homogéneo; ahora se determina por las relaciones dependientes del observador. En consecuencia, no existe un lugar fijo, y la espacialidad relativa cobra fuerza, constituyéndose como una estructura organizada en la percepción y en el sistema de referencia.

---

[15] "One of the most persistent debates both inside and outside of philosophy about the nature of time concerns the relationship between the manifest, flowing time of everyday experience and time as it appears in our best current physics, as one dimension in a static manifold of events".

[16] "We usually end up describing passage with metaphors that prove circular and then, in desperation, gestures".

Aun así, la física pretende establecer prácticas de medición espaciotemporales; no obstante, "el tiempo es lo que mide un reloj"[17] (Lesne, 2017, p. 55). Esta expresión, que no debe ser considerada trivial, muestra una definición contemporánea de carácter constructivista, en la que no se fija una magnitud en sí misma, por el contrario, se asume que proviene de los dispositivos capaces de registrar el tiempo. En consecuencia, el espacio y el tiempo —ya como un solo ente— no adquieren un significado ontológico, se estructuran desde su función como coordenadas físicas inherentes al sistema de medición.

La unión entre espacio y tiempo dio lugar a diversas posturas y teorías filosóficas y físicas, entre ellas la concepción denominada *universo bloque*[18] (Bouton, 2017). Esta imagen teórica sostiene que los eventos pasados, presentes y futuros coexisten simultáneamente, no hay un flujo de tiempo físico, en su lugar, todos los acontecimientos existen en un bloque, entendido como una construcción subjetiva de la conciencia. En este sentido, Weyl (1949) expone "el mundo objetivo simplemente es, no sucede. Solo ante la mirada de mi conciencia, que asciende por la línea vital de mi cuerpo, una parte de este mundo cobra vida como una imagen fugaz en el espacio que cambia continuamente en el tiempo"[19] (p. 116). Esto significa que la temporalidad únicamente se presenta desde una perspectiva interior y no como una estructura física basada en la experiencia.

De hecho, la Teoría de la Relatividad elimina la concepción de un presente absoluto; en este sentido, Bouton (2017) sostiene "con la teoría de la relatividad, el 'ahora' pierde para el mundo espacial su significado objetivo[20]" (p. 89). De este modo, la simultaneidad deja de ser universal y pasa a convertirse en una propiedad del observador dentro de su sistema de referencia. Toda interpretación del espacio-tiempo, además de constituir una necesidad lógica, es también una construcción teórica que debe ser debatida mediante una revisión y reflexión crítica.

La Teoría de la Relatividad unificó estas entidades en una sola y las concibió bajo una estructura geométrica de cuatro dimensiones; también impulsó a profundizar en sus fundamentos ontológicos y epistemológicos, que hoy en día siguen siendo objeto de investigación. Al dejar de

[17] "Time is what a clock measures. The statement attributed to Poincare".
[18] "Block Universe".
[19] "The objective world simply is it does not happen. Only to the gaze of my consciousness, crawling upward along the life line of my body, does a section of this world come to life as a fleeting image in space which continuously changes in time".
[20] "With the theory of relativity, 'now' loses for the spatially world its objective meaning".

considerarse el espacio-tiempo como un receptáculo fijo e inmóvil, fue posible comprender la dinámica y las problemáticas derivadas de la velocidad de la luz; del mismo modo, se revolucionó toda una concepción teórica de la gravedad, que modificaba la postura newtoniana sobre esta. Einstein desarrolló dicha concepción en la Teoría General de la Relatividad (TGR), la cual también generó debates, oposiciones e interpretaciones en la comunidad científica en torno a si el espacio-tiempo debía entenderse como una sustancia independiente del mundo físico, manteniendo su estructura matemática, o como una construcción de relaciones entre objetos a través de sus cambios, como ya se había planteado en la polémica Leibniz-Clarke. No obstante, Dorato (2008) sostiene que

> Las dificultades para ajustar la dicotomía sustantivalismo/relacionismo al marco de la Teoría General de la Relatividad (TGR) han impulsado a los filósofos del espacio y el tiempo a buscar formulaciones alternativas para el debate. Entre estas, se han propuesto diversas formas de realismo estructural espaciotemporal[21]. (p. 17).

Este tipo de debates, que surgieron después de la formulación unificada del espacio-tiempo, aunque no resuelven los problemas ontológicos ni epistemológicos en torno a una definición única de estas entidades, ofrecen herramientas para comprender la dinámica del espacio-tiempo y sus nuevas interpretaciones en la construcción del conocimiento científico. Como se ha señalado, se presentan diferentes posturas; *e. g.* Rovelli (1999) indica "la cuestión es que la única definición de ubicación físicamente significativa, que tiene sentido físico dentro de la RG [Relatividad General], es la relacional. La RG describe el mundo como un conjunto de campos que interactúan y, posiblemente, otros objetos[22]" (p. 7). Con ello expresa que la interpretación del espacio-tiempo como relaciones constituye la base de las dinámicas de los objetos.

El desarrollo histórico y filosófico que se abarcó para exponer la trascendencia conceptual de la unión del espacio-tiempo como una sola entidad pone de manifiesto que este derivó de un largo camino de reflexiones profundas, ontológicas, epistemológicas, teológicas y científicas.

---

[21] "Difficulties to adjust the substantivalism/relationism dichotomy to the framework of the General Theory of Relativity (GTR) have pushed philosophers of space and time to find alternative formulations of the debate. Among these, various forms of structural spacetime realism".

[22] "The point is that the only physically meaningful definition of location that makes physical sense within GR is relational. GR describes the world as a set of interacting fields and, possibly, other objects".

Traspasar los pensamientos tradicionalistas de cada época —como la concepción aristotélica que perduró por varios siglos, la interiorización del tiempo desde la teología de Agustín de Hipona, la crítica de Leibniz con su postura relacional, o la intuición y sensibilidad expuestas por Kant— marcó un hito en la historia del espacio-tiempo, generando un constante debate entre lo metafísico y lo físico.

No obstante, la formulación de Isaac Newton, quien impuso la teoría absolutista desde la concepción del espacio y el tiempo como fijos y externos a los fenómenos, generó controversias con Leibniz y Clarke. Aun así, los cuestionamientos filosóficos y científicos que se planteaban en torno a la comprensión de los fenómenos y del mundo dieron cabida a salir de la esfera del conocimiento ya establecido e iniciar un cambio paradigmático en la interpretación del espacio-tiempo. Mach, Poincaré, Minkowski y otros no mencionados, pero igualmente importantes, contribuyeron de manera significativa para que, finalmente, Einstein propusiera dentro de su teoría la unificación del espacio y el tiempo, otorgando un nuevo enfoque a la interpretación del mundo; la Teoría de la Relatividad, tanto especial como general, profundizó la visión científica, replanteando la forma de construir el conocimiento y la ciencia misma.

Y, aunque la unión del espacio-tiempo resolvió múltiples problemáticas heredadas de la mecánica clásica y del electromagnetismo, también abrió nuevos horizontes e interrogantes sobre la constitución y el significado del espacio y del tiempo. Este recorrido histórico y filosófico revela una transformación decisiva en los modos de pensar y racionalizar que, más que cerrar siglos de debates, implica una apertura en la indagación del conocimiento desde lo filosófico, lo fenomenológico y lo físico, y, de especial importancia, desde la enseñanza del espacio-tiempo en las aulas.

En este sentido, la enseñanza de la constitución del espacio-tiempo en las aulas de secundaria plantea un desafío pedagógico, didáctico y epistemológico que conduce a los estudiantes a desarrollar habilidades de Pensamiento Crítico, las cuales les permitan profundizar en sus diferentes tipos de razonamiento y comprender que la ciencia es un eje fundamental en la formación de ciudadanos; de este modo, estarán en capacidad de analizar las estructuras del conocimiento que día a día se presentan.

Por esta razón, la enseñanza del espacio-tiempo en la educación secundaria no debe presentarse únicamente desde la formulación y resolución de ecuaciones matemáticas, ni limitarse a señalar que la física clásica presentaba dificultades aún no resueltas. Más bien, constituye la oportunidad de mostrar a los estudiantes que la ciencia, a través de un proceso histórico y filosófico, permite identificar cómo, mediante reflexiones, debates, tensiones y rupturas epistemológicas, se han generado nuevas teorías que explican el funcionamiento del Universo.

Adicionalmente, el estudio del espacio-tiempo en el aula favorece un razonamiento teórico y crítico al permitir identificar las propuestas filosóficas que se han desarrollado a lo largo de la historia. Este enfoque abre horizontes en los modos de pensar, fomenta el Pensamiento Crítico al analizar cómo se transforma el conocimiento e impulsa a reconocer que la ciencia está en constante cambio.

Capítulo III

"Estoy convencido de que el tiempo si es un objeto de ciencia. Ha de tener su lugar en la estructura de la ciencia moderna, y este lugar, a mi parecer, es fundamental, es el primero. Hay que pensar, pues, el universo como una evolución irreversible"
(Prigogine, 2021, p. 25)

Es importante destacar que la relación entre la Historia y Filosofía de la Ciencia es fundamental para la interpretación del conocimiento; Giere (1973) declara que estas constituyen un 'matrimonio por conveniencia', por lo que, en la construcción y comprensión del conocimiento científico, deben tenerse en cuenta tanto la historia como la filosofía de la ciencia. En esta misma línea, Guillaumin (2005) considera que en esta integración…

> los objetivos de la historia de la ciencia es estudiar el proceso mediante el cual se elabora el conocimiento científico, al filósofo de la ciencia le corresponde estudiar, sobre todo, evaluar el resultado de ese proceso las teorías científicas, las creencias científicas, los métodos, etc. Este aspecto, casi una isla de relativo acuerdo (p. 185).

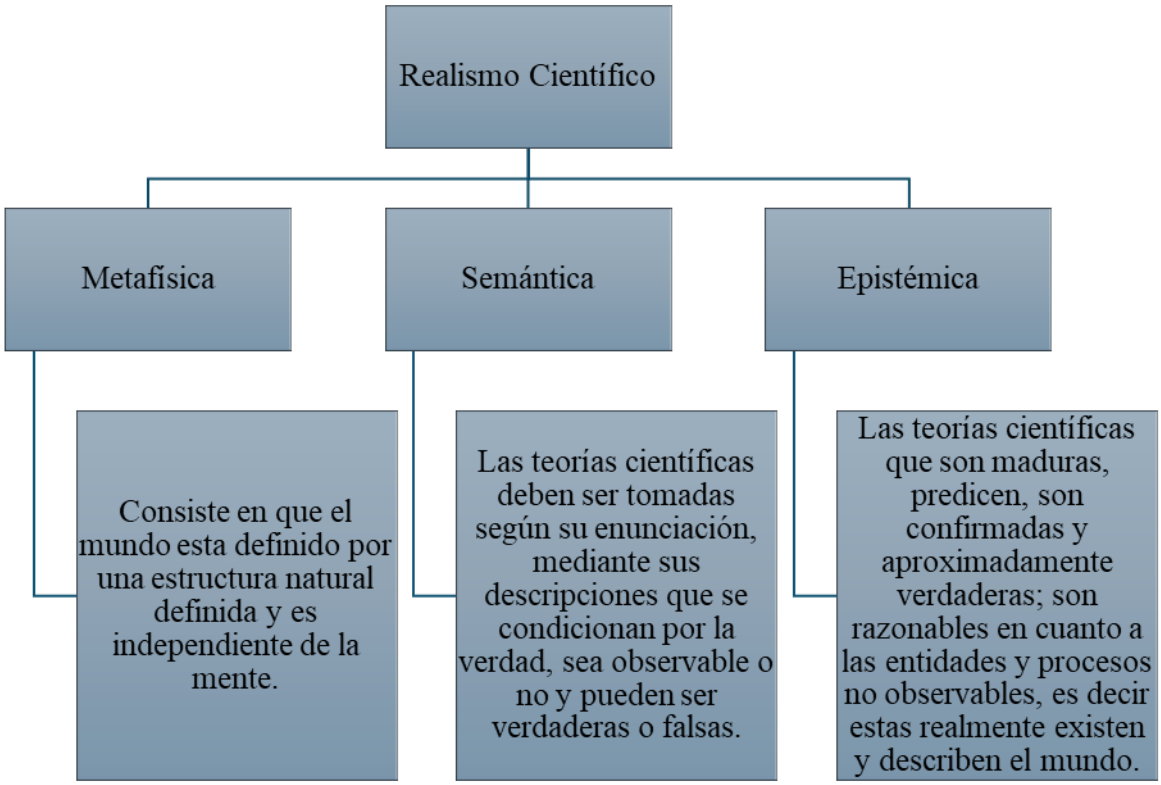
En este planteamiento, ambos campos deben trabajar conjuntamente, dado que "ni la historia ni la filosofía de la ciencia se pueden derivar lógicamente la una de la otra por deducción" (Nickles, 2005, p. 197). Ambas resultan necesarias para el estudio del conocimiento científico a lo largo de la historia de la humanidad.

En este sentido, el presente capítulo se desarrollará caracterizando los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia para la indagación y comprensión del conocimiento, a partir de tres corrientes identificadas que permiten evidenciar su evolución, el realismo científico, el historicismo y la epistemología histórica. Desde estas perspectivas, se contribuye al entendimiento de que el conocimiento en la ciencia no es lineal y se ofrecen modos de pensar que muestran cómo se configura el razonamiento de los estudiantes en relación con sus normas y prácticas.

Realismo Científico

Esta postura, correspondiente a la corriente filosófica del realismo científico, se constituye a partir de la afirmación de que las teorías científicas pueden describirse de manera objetiva, es decir, tanto en relación con fenómenos observables como con aquellos no observables. La perspectiva del realismo científico, según Psillos (1999), se expone como la manera de explicar el progreso de la ciencia a partir de tres tesis: la metafísica, la semántica y la epistémica, como se evidencia en la figura 10.

Figura 10. ¿Qué es el realismo Científico?



Nota. Elaboración propia Adaptado de Psillos (1999)

En este sentido, Putnam argumenta que "el realismo científico es la única filosofía de la ciencia que no convierte el éxito de la ciencia en un milagro" (1975, p. XX; esto conlleva a que, si se asumieran las teorías científicas como verdades absolutas, sin necesidad de que fueran predictivas ni de describir la estructura del mundo, entonces no sería imprescindible comprobarlas

ni explicarlas en función de su concordancia con la realidad. En consecuencia, la ciencia parecería un milagro; por ello, el realismo científico se presenta como una postura racional para comprender la función y la importancia del conocimiento científico, el cual debe seguir siendo debatido y perfeccionado a partir de teorías que se aproximen progresivamente a la realidad del mundo.

Asimismo, Putnam (1975) sostiene que el realismo científico implica que, cuando una teoría enuncia la existencia de algo o de determinadas entidades, estas deben existir, dado que coexiste una relación entre el pensamiento y el mundo. Esto conduce a generar descripciones de la realidad; es decir, una teoría no es simplemente una representación semántica, sino que implica la existencia de 'verdades' independientes de las creencias o posturas conceptuales; en consecuencia, el realismo científico concluye en el planteamiento de un razonamiento orientado a la búsqueda de una explicación coherente de las teorías científicas.

En este contexto, Putnam introduce el argumento del 'milagro' en la ciencia, el cual consiste en sostener que las teorías científicas no pueden explicarse razonablemente si no se considera que efectivamente describen aspectos del mundo real, *e.g.* la Teoría de la Relatividad o la mecánica cuántica que, aunque altamente complejas en su estructura, han tenido éxito precisamente porque sus predicciones y explicaciones de fenómenos —incluso de aquellos que aún no han sido observados— se encuentran conectadas con el mundo real. Este éxito no puede atribuirse a una simple coincidencia, y Putnam lo expresa con claridad

> Una explicación incorrecta de un objeto teórico —por ejemplo, el campo gravitacional, la estructura métrica del espacio-tiempo, o ambos— se reemplaza por una explicación mejor del mismo objeto u objetos. Pero si estos objetos no existen realmente, entonces es un milagro que una teoría que habla de la acción gravitacional a distancia prediga con éxito los fenómenos; es un milagro que una teoría que habla de la curvatura del espacio-tiempo prediga con éxito los fenómenos[23]. (Putnam, 1975, p. 178)

[23] "Incorrect account of a theorical object -say, the gravitational field, or the metric structure of space-time, or both- is replaced by a better account of the same object or objects. But if these objects don't really exist alle, then it is a miracle that a theory which speaks of gravitational action at a distance successfully predicts phenomena; it is a miracle that a theory which speaks of curved space-time successfully predicts phenomena".

Así pues, teniendo en cuenta que las teorías científicas, desde marcos conceptuales que incluyen entidades no observables, predicen y explican correctamente diversos fenómenos del mundo, dichas teorías no deben considerarse como "milagros" ni como ciencia ficción. Tampoco deben asumirse como verdades en sentido absoluto, como podría plantearse desde una perspectiva positivista, ya que —según Putnam— las teorías también contienen errores o idealizaciones. En este sentido, abarcan únicamente ciertos aspectos del mundo real y no constituyen una explicación total ni una verdad extrema. Si fueran una "verdad absoluta", impedirían una comprensión racional y quedarían reducidas a hechos inexplicables, es decir, a "milagros", sin un fundamento epistemológico ni ontológico.

El realismo científico se resume así, "si bien existen múltiples formas de caracterizar al RC [Realismo Científico], todas ellas gravitan en torno al grado y tipo de conocimiento que la ciencia nos brinda del mundo, principalmente acerca de sus aspectos inobservables" (Borge, 2015, p. 222). De este modo, dicha caracterización se engloba en lo ontológico, lo semántico y lo epistemológico; no obstante, van Fraassen (1980) expone "la ciencia busca, en sus teorías, brindarnos una historia literalmente verdadera de cómo es el mundo; y aceptar una teoría científica implica creer en su veracidad. Esta es la afirmación correcta del realismo científico[24]" (p. 8). Esto resalta que la importancia del realismo científico va más allá de lo que las teorías enuncian, esta corriente filosófica profundiza en lo que descubren del mundo, su explicación y su verdad. Asimismo, sostiene que…

> De igual manera, afirmo que el éxito de las teorías científicas actuales no es un milagro. Ni siquiera sorprende a la mente científica (…) Pues toda teoría científica nace en una vida de feroz competencia, una jungla de dientes y garras. Solo las teorías exitosas sobreviven: aquellas que, de hecho, se aferraron a las regularidades reales de la naturaleza[25] (p. 40).

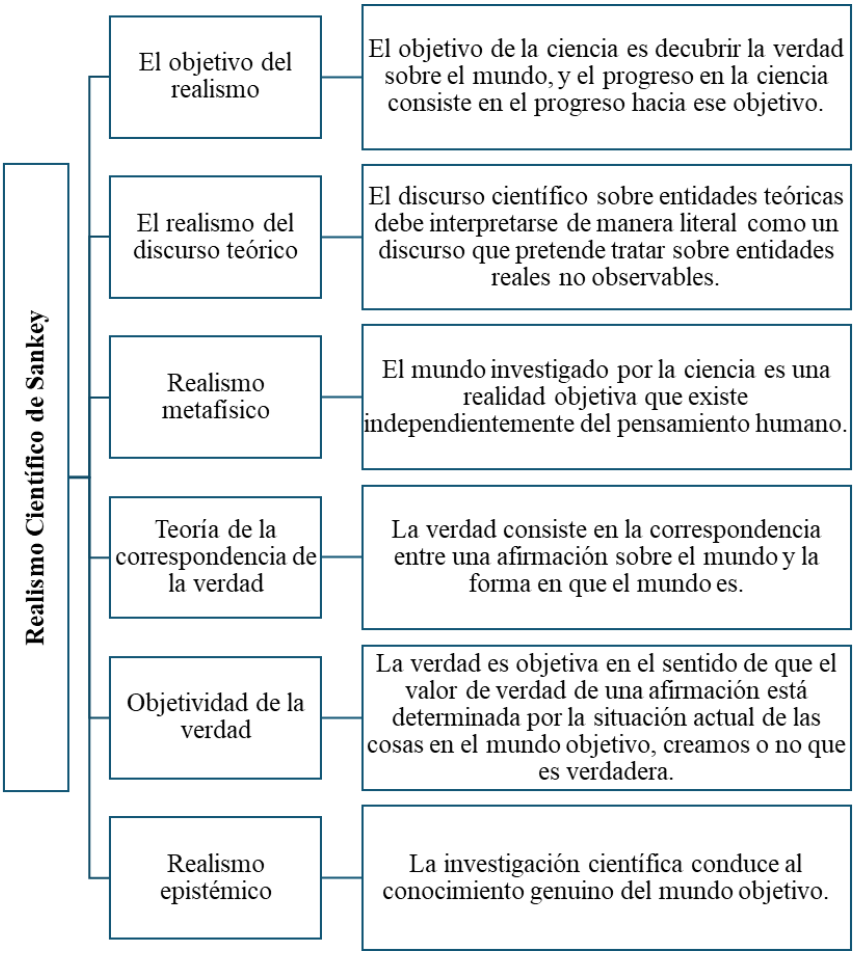
Por ende, el realismo científico debe otorgar a la ciencia la manera de describir el mundo, tanto en lo relativo a los fenómenos observables como a los no observables; asimismo, ha de

[24] "Science aims to give us, in its theories, a literally true story of what the world is like; and acceptance of a scientific theory involves the belief that it is true. This is the correct statement of scientific realism".
[25] "In just the same way, I claim that the success of current scientific theories is no miracle. It is not even surprising to the scientific (…) mind. For any scientific theory is born into a life of fierce competition, a jungle red in tooth and claw. Only the successful theories survive—the ones which in fact latched on to actual regularities in nature".

considerarse que, aunque una teoría tenga posibilidades de ser exitosa, ello no significa que sea verdadera; por lo tanto, también se debe discriminar hipótesis más allá del empirismo y clarificar la relación ontológica con la epistemología y la racionalidad (Patomäki, 2021).

Howard Sankey[26] (2001, 2003) propone el realismo científico desde seis posturas o tesis (figura 11), las cuales las declara, como una familia interrelacionada que ofrece una visión coherente sobre el conocimiento verdadero y del mundo. Esta postura de Sankey debe entenderse considerando que, aunque dichas tesis coexistan, no son absolutas; por ello son esenciales para recordar que las teorías científicas no ofrecen explicaciones milagrosas.

Figura 11. Realismo Científico Sankey.



Nota. Elaboración propia Adaptado de Sankey (2001; 2003)

[26] Las obras de Howard Sankey han sido traducidas al español y se encuentran en: Sankey, H. (2015). *Ciencia, realidad y racionalidad* (J. C. Aguirre, Trad.). Editorial Universidad del Cauca.

En el diálogo que realizan Anjan Chakravartty y Bas C. van Fraassen (2018) acerca de lo que es el realismo científico, se evidencia el planteamiento filosófico desde dos posturas, lo que permite mostrar el papel que desempeña la filosofía en la ciencia frente a la divergencia en la interpretación del realismo científico. Van Fraassen, desde su postura empirista constructiva, expone que "el realismo científico es la visión de que el objetivo, el criterio de éxito en la ciencia, es llegar a teorías verdaderas, en lugar de teorías meramente empíricamente adecuadas" (p. 17), pretendiendo así que, más allá de creer en la teoría y en entidades y fenómenos no observables, las reflexiones filosóficas den sentido a las creencias. Chakravartty considera que no han de seguirse literalmente las teorías científicas, sino que es preciso situarse en un lugar epistémico respecto de su descripción, no hay que creer que la ciencia únicamente busca la verdad, ya que también posee un trasfondo epistémico que permite suponer la existencia de las entidades no observables; aunque no sea una obligación creer en ellas, sí es constitutivo plantearse desde la postura del realismo.

En contraste, Hacking (1996) presenta su postura frente al realismo científico, introduciéndolo desde un enfoque centrado en las entidades y en los postulados de las teorías altamente válidas; expone de manera concisa "el realismo científico dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen" (p. 39), afirmando así que la esencia del realismo se encuentra ligada a la ontología que describe la ciencia. Asimismo, plantea, para sustentar su perspectiva, una estrategia filosófica para comprender la realidad, que se enmarca en la idea de que los objetos observables a simple vista y los que no lo son pertenecen a un orden de existencia más allá de una visión empírica directa, y que tienen capacidad de causar efectos y consecuencias coherentes en la práctica racional y experimental. En este sentido, sostiene, "la física de partículas es tan real como enamorarse" (p. 39).

Hacking no desconoce que las teorías científicas tengan sus fallas; no obstante, estas pueden aproximarse a la verdad "aun cuando nuestras ciencias no pueden considerarse totalmente correctas, el realista sostiene que nos aproximamos a la verdad" (1996, p. 39). El realismo no depende de la verdad de estas teorías, sino de cómo estas explican una realidad efectiva al ser manipuladas mediante experimentos, como en el caso del electrón en el experimento de Millikan. De este modo, defiende su postura acerca de las entidades y no de las teorías, enunciando que aquellas son reales dado que permiten ser intervenidas para la explicación del mundo; así, sostiene que

> Nos permiten intervenir en procesos y crear fenómenos nuevos y hasta entonces no imaginados. Pero lo que realmente hace "que las cosas funcionen" no es un conjunto de leyes, o leyes verdaderas. No hay leyes exactamente verdaderas que hagan que las cosas sucedan. Son el electrón y sus congéneres los que están produciendo los efectos. Los electrones son reales y ellos producen los efectos (p.57).

Por consiguiente, no hay que caer en una discusión filosófica y verbal sobre lo que es verdadero o real, dado que "el árbitro final en filosofía no es lo que pensamos, sino lo que hacemos" (p. 50). Por ende, lo importante es aquello que se pueda intervenir y transformar mediante estas entidades científicas. Aun así, Hacking manifiesta la complejidad que recae en el realismo científico y observa que puede haber "dos tipos de realismo científico, uno para teorías y uno para entidades" (p. 45), lo cual implica que no se puede comprometer la idea de que todo realismo sea verdad de las teorías y, al mismo tiempo, considerar la existencia de las entidades que estas postulan.

Finalmente, la configuración del realismo científico se presenta como una postura que permite comprender el progreso y la evolución del conocimiento y su relación con la explicación de fenómenos que se articulan con la realidad. Esta corriente filosófica no cierra las puertas a las diferentes interpretaciones de las teorías científicas, proporcionando así la posibilidad de reconocer que el conocimiento y la ciencia misma no se basan únicamente en constituir teorías para representar y describir la realidad, también se facultad de intervenirla y transformarla sin necesidad de que todo sea observable, de modo que las entidades no observables están incluso presentes en las situaciones que la ciencia estudia.

Este tipo de interpretaciones de Putnam, Psillos, van Fraassen, Chakravartty, Sankey, Hacking, entre otros, sitúan al realismo científico como una corriente filosófica que se establece como estructura para la comprensión, evolución y racionalidad del conocimiento. Así, desde la articulación ontológica, epistémica o semántica, y la creencia en lo observable o no, la propuesta filosófica de esta corriente muestra el progreso de la ciencia y de las teorías que se aproximan a la explicación real de los fenómenos; el debate en cuanto a su definición constituye un campo abierto para la reflexión filosófica de la ciencia actual.

Historicismo

A lo largo de la historia, algunas posturas de la filosofía de la ciencia, como el positivismo, consideraron que el conocimiento científico progresa mediante un desarrollo lineal y acumulativo, liderado por métodos y pautas que se pensaban universales. Sin embargo, desde inicios del siglo XX la ciencia inició una transformación drástica que condujo a plantear diversas reflexiones en torno a cómo se ha construido el conocimiento científico. A raíz de ello, la ciencia y su saber comenzaron una metamorfosis en su interpretación, considerando que esta estaba conectada con la historia, lo que permitió dar cuenta de que los conceptos son susceptibles de cambio. De este modo, la corriente filosófica del historicismo marca un punto clave en la comprensión epistemológica del conocimiento científico, al enfocarse en que la ciencia debe ser entendida en su contexto histórico.

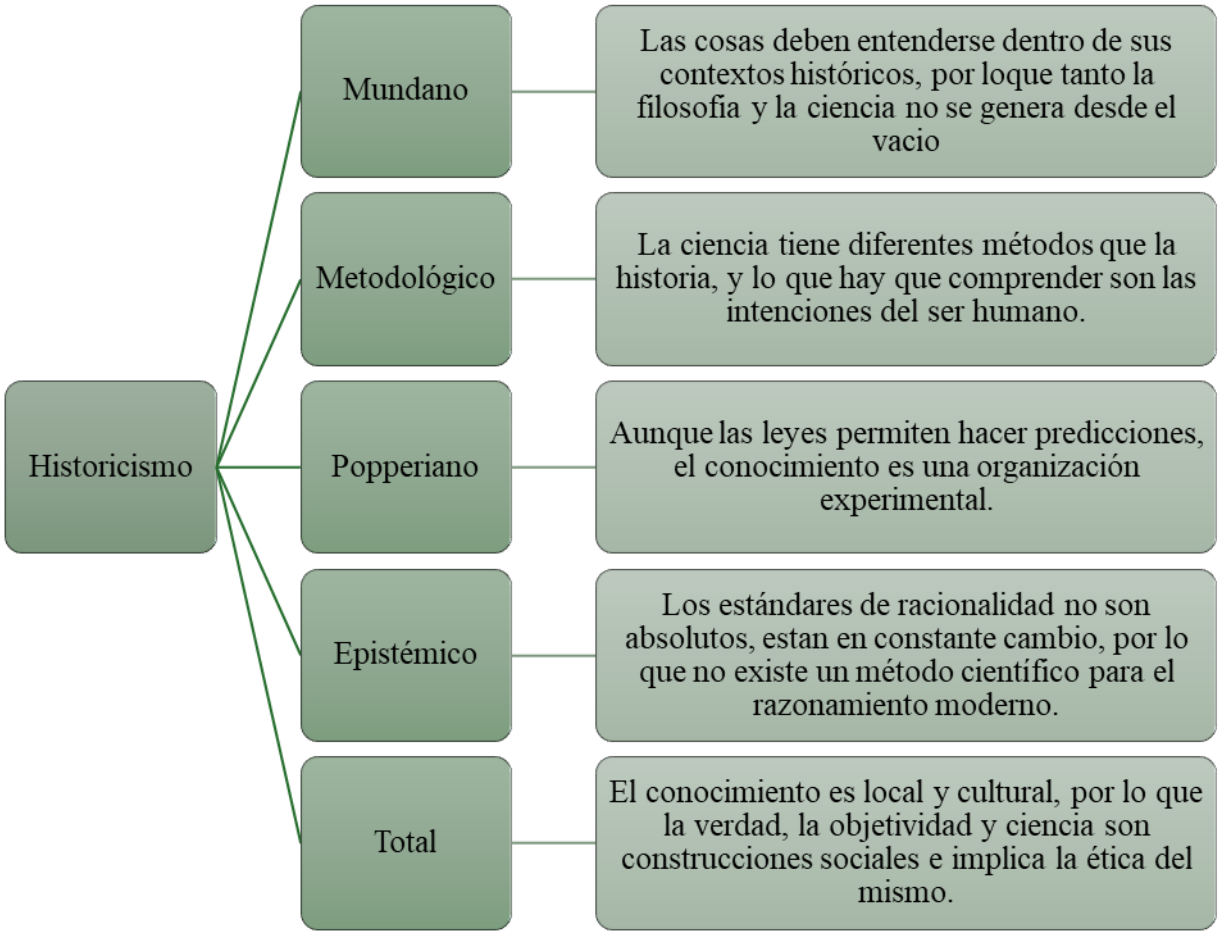
Meinecke (1943) precisa que el "historicismo es algo más que un método de las ciencias del espíritu (…) la médula del historicismo radica en la sustitución de una consideración generalizadora de las fuerzas humanas históricas por una consideración individualizadora" (p. 12). Por lo tanto, este se convierte en una forma de pensar que transforma la manera de concebir la producción del conocimiento, interpreta el pasado, su particularidad y su contexto; no es una construcción anecdótica, esta permite vislumbrar una nueva visión de la ciencia, dado que analiza su transformación histórica como una realidad que no se reduce simplemente a esquemas conceptuales.

Siguiendo esta línea, Reynolds (1999) clasifica el historicismo bajo cinco tesis (figura 12), las cuales pretende desarrollar y aclarar para precisar a qué se refiere conceptualmente esta corriente filosófica; él las organiza del siguiente modo, en primer lugar, el historicismo mundano, que consiste en que es necesario situar el contexto histórico para lograr comprender el fenómeno; en segunda instancia, el historicismo metodológico, abordado desde la filosofía de la historia y la historia misma, donde se afirma que estas poseen métodos que difieren de los de las ciencias, dado que lo primordial aquí no es establecer leyes, sino comprender que el pasado estuvo influenciado también por acciones humanas y que, al reconstruirlas, se adquiere la comprensión.

Como tercera tesis se encuentra el historicismo popperiano, el cual se plantea desde la idea de que existen leyes generales en la historia que permiten hacer predicciones; no obstante, Popper criticó esta línea, dado que hacer predicciones científicas en la historia no es válido por su

complejidad, puesto que la historia no es un campo experimental, criticando así al historicismo. Como penúltima tesis se encuentra el historicismo epistémico, que se enfoca en que los criterios de racionalidad no son eternos ni universales, estos radican que, históricamente son variables; por lo tanto, con el tiempo la forma de razonar puede cambiar, convirtiéndose en estilos de razonamiento, como lo propone Hacking. Por último, en la quinta tesis se ubica el historicismo total, las verdades, los valores, las normas ni los ideales son ahistóricos o universales; el conocimiento es una construcción social e histórica.

Figura 12. Historicismo según Reynolds



Nota. Elaboración propia adaptado de Reynolds (1999)

La corriente del historicismo radica en la importancia de comprender la ciencia y su racionalidad desde el suceder histórico, constituyéndose como una postura crítica y transformadora de la racionalidad científica, desligándose de la idea de que el conocimiento es acumulativo y lineal

mediante un mal llamado 'método científico'. Nickles (2021) expone "varios filósofos de la ciencia con formación histórica cuestionaron las explicaciones entonces dominantes del método científico (…) por no encajar en la práctica científica histórica y, en particular, por no explicar el cambio científico profundo" (p. 1).

Es así como comprender que las teorías y sus enunciados no son absolutos por la eternidad del tiempo, sino que están sujetos a modificaciones e interpretaciones de acuerdo con el contexto histórico. Por ello, Brown (1977) describe "un cambio en los presupuestos de una disciplina da lugar a una reestructuración fundamental de esa disciplina, es decir, una revolución científica"[27] (p. 540). No obstante, es importante precisar que, aunque las revoluciones científicas han modificado estructuras que prevalecieron en la historia de la ciencia, estas permiten conocer su significado antes y después, con el fin de posibilitar la comparación crítica y determinar el fundamento de su transformación y comprensión.

Al considerar el historicismo como una corriente filosófica que cuestiona las epistemologías absolutas (Brown, 1977) y, además, que el conocimiento científico o no proviene de su relación con la historia, se va comprendiendo la importancia que tiene la historia en el desarrollo del conocimiento humano. De esta manera, Fleck (1929) resalta que "cada teoría del conocimiento está relacionada con lo social y además con lo histórico-cultural"[28] (p. 425), por lo que esta afirmación no se centra únicamente en un punto sociológico, esta reconoce que el conocimiento surge dentro de las comunidades que interactúan entre sí, compartiendo formas de razonar y de validar lo que conocen.

Además, Fleck señala que la realidad que posee cada persona no es homogénea, esta se contextualiza en su entorno, por lo que argumenta que

> Cada individuo pensante, como miembro de alguna sociedad, tiene su propia realidad en la que vive y según la cual vive. Cada persona posee incluso muchas realidades, algunas de las cuales se contradicen entre sí: la realidad de la vida cotidiana, una profesional, una religiosa, una política y una pequeña realidad

[27] "a change in the presuppositions of a discipline results in a fundamental restructuring of that discipline, i.e., a scientific revolution".
[28] „jede Erkenntuistheorie mit Sozialem und weiterhin mit Kulturhistorischem in Beziehung gebracht werden".

> científica. Y oculta una realidad personal, supersticiosamente y fatídica que hace que el propio yo sea una excepción[29] (p. 426).

Aun así, estas realidades no se organizan de manera jerárquica; coexisten y condicionan que cada individuo considere lo verdadero; sin embargo, esta postura respecto del conocimiento en la ciencia no puede entenderse como un todo acabado, más bien es una transformación colectiva orientada a la elaboración de una realidad social.

Por ello, "cada conocimiento tiene un estilo de pensamiento propio con su tradición y educación específicas[30]" (p. 426), lo que conlleva a que nuestra percepción dependa de los colectivos de pensamiento socioculturales, los cuales cambian cuando se transforman las formas de interpretación dentro de una comunidad. En este proceso de conocer, "surgen tres sistemas de factores que se relacionan entre sí e interactúan entre sí y que contribuyen a todo acto de cognición: el peso de la tradición, el peso de la educación y el efecto del orden de cognición"[31] (p. 425). De esta forma, toda teoría del conocimiento está influenciada por su dimensión social, cultural e histórica, tres elementos que configuran las determinaciones sociales en la comprensión y el desarrollo del conocimiento, lo que resalta la importancia del historicismo en la construcción epistemológica del saber.

En este sentido, Kuhn (2013) propone "si se considera como algo más que un acervo de anécdotas o como algo más que mera cronología, la historia podría provocar una transformación decisiva en la imagen de la ciencia que ahora nos domina" (p. 101). Esta apuesta no solo permite comprender la evolución de las teorías científicas, agrega la posibilidad de evaluar críticamente el devenir de los cambios teóricos y conceptuales de la ciencia, un cambio de paradigma. No obstante, Martínez (2018) considera que Kuhn no desarrolla de manera clara una filosofía de la ciencia historicista, dado que no muestra explícitamente la ruptura del método científico para darle continuidad a la explicación teórica del conocimiento; aun cuando introduce la noción de

---

[29] „Jedes denkende Individuum hat also als Mitglied irgendeiner Gesellschaft seine eigene Wirklichkeit, in der und nach der es lebt. Jeder Mensch besitzt sogar viele, zum Teil einander widersprechende Wirklichkeiten: die Wirklichkeit des alltäglichen Lebens, eine berufliche, eine religiöse, eine politische und eine kleine wissenschaftliche Wirklichkeit. Und verborgen eine abergläubisch schicksalsvolle, das eigene Ich zur Ausnahme machende, persönliche Wirklichkeit".

[30] „Jedes Wissen hat einen eigenen Gedankenstil mit seiner spezifischen Tradition und Erziehung".

[31] „entstehen drei, an jedem Erkennen mitwirkende, miteinander verknüpfte und aufeinander einwirkende Facktorensysteme: die Last der Tradition, Das Gewicht der Erziehung und die Wirkung der Reihenfolge des Erkennens".

revolución científica, los planteamientos de Kuhn aportaron de manera significativa a la comprensión y el desarrollo de la ciencia desde las estructuras históricas.

El historicismo no se basa en una descripción empírica del desarrollo del conocimiento científico; permite generar un sistema teórico para comprender dicho conocimiento de una manera racional. Por lo tanto, Lakatos (2011) introduce los términos de historia interna y externa, en donde estas, respectivamente, se rigen por normas racionales de evaluación y por factores empíricos sociológicos sin determinar su racionalidad, "la reconstrucción racional o historia interna es primaria, la historia externa es secundaria" (p. 38), identificando así que lo epistémico interno está presente en la reconstrucción racional de los cambios externos. Por ende, "cualquiera que sea el problema que el historiador de la ciencia desee resolver, ha de construir primero la parcela relevante al desarrollo del conocimiento científico objetivo, es decir, la parcela relevante de 'historia interna'" (p. 39).

Es así como el progreso científico no puede explicarse mediante acumulaciones de conocimiento ni dinámicas metodológicas internas; en contraste, el historicismo permite articular una teoría racional científica que reinterpreta la historia como un proceso reconstructivo. Tanto es así que Lakatos sostiene que "la historia interna no es (…) una selección de hechos metodológicamente interpretados puede ser, en ocasiones, una versión radicalmente modificada de los mismos" (p. 40), exponiendo que la reconstrucción racional es una interpretación coherente de la racionalidad científica histórica. Afirma, además, que "todos los historiadores de la ciencia defensores de que el progreso de la ciencia *es progreso del conocimiento objetivo* utilizan (…) alguna reconstrucción racional" (Lakatos, 1989, p. 246). Por ende, es inevitable no apoyarse en una mirada racional para lograr la comprensión de los fenómenos del mundo; se debe adoptar una postura que no se limite a narrar hechos históricos sin una finalidad de explicación racional.

Finalmente, el historicismo se sitúa desde una perspectiva filosófica indispensable que conduce a la comprensión y al desarrollo del conocimiento científico, identificando que este no es lineal ni acumulativo, entendiendo que atraviesa tradiciones, estructuras sociales y culturales. En este sentido, esta corriente filosófica constituye una visión crítica del quehacer científico en la historia. Meinecke, Brown, Fleck, Kuhn, Lakatos, entre otros, sostienen que la ciencia está vinculada a su contexto histórico y cultural, por lo que el historicismo se configura como un

horizonte epistemológico del conocimiento científico y muestra la construcción racional y cambiante que ha caracterizado la historia de la ciencia.

Epistemología Histórica

La corriente filosófica de la epistemología histórica se configura al ubicar el conocimiento científico desde un acceso histórico concreto; esta se construye mediante configuraciones históricas determinadas. Para iniciar con ello, Bachelard (1991) presupone que es necesario atravesar y superar ciertos obstáculos epistemológicos, por lo que considera que, en principio, "la historia (…) es un efecto hostil a todo juicio" (p. 19). Asimismo,

> Todo lo que se encuentra en la historia del pensamiento científico, dista mucho de servir efectivamente a la evolución del pensamiento [por lo que] el epistemólogo debe, pues seleccionar los documentos recogidos del historiador. Debe juzgarlos desde el punto de vista de la razón y hasta de la razón evolucionada, pues solamente en nuestros días es cuando podemos juzgar plenamente los errores del pasado espiritual (p. 19).

Por ende, el epistemólogo debe tener claridad en su selección y plantear una postura crítica frente al hecho histórico; no ha de limitarse a narrar la historia, este debe construir racionalmente el surgimiento del conocimiento estudiado mediante la reconstrucción histórica y evidenciar la transformación del pensamiento. Es así como la epistemología histórica, desde una mirada crítica, muestra las condiciones bajo las cuales se adquirió el conocimiento de la época analizada.

La epistemología histórica se caracteriza por realizar una ruptura radical en la concepción de que el conocimiento científico está basado en acumulaciones y verdades absolutas; Rheinberger (2010) declara que "la historización de la epistemología representa un momento decisivo en la transformación de la filosofía de la ciencia del siglo XX"[32] (p. 1), replanteando así el problema epistemológico que conlleva la separación de métodos universales y absolutos respecto de la práctica real del conocimiento científico. Es así como "la historización de la epistemología también

[32] "The historicization of epistemology represents a decisive moment in the transformation of twentieth-century philosophy of science".

significa, por tanto, someter la teoría del conocimiento a un régimen empírico-histórico, entendiendo su objeto como históricamente variable, no basado en alguna presuposición trascendental o norma *a priori*"[33] (p. 3). Por lo tanto, la historización de la epistemología y la filosofía de la ciencia converge en una epistemología histórica que se enfoca en situar el conocimiento científico en procesos que tuvieron lugar durante hechos históricos concretos.

Es así como Rheinberger (2010) expresa que le

> corresponde a la epistemología histórica, en la medida en que toma en serio su propia pretensión actualista de intentar elevarse al nivel de su época en relación con los desarrollos científicos más recientes, trascenderse a sí misma y comprender su propia producción de conocimiento como un proceso de cambio histórico. (...) La epistemología histórica, (...), no sólo tiene que ver con la historicidad de las ciencias, sino que es en sí misma una empresa histórica[34] (p. 27).

Esta afirmación no solo se enfoca en abordar una historicidad, es, más bien debe entenderse como la manera en que ha de construirse una naturaleza del conocimiento epistemológico situada en el tiempo en que surgió su producción. De este modo, se establece que el conocimiento evoluciona y se modifica, al igual que los métodos de análisis, los cuales se transforman históricamente para la comprensión del conocimiento "la epistemología histórica tiene su propio laboratorio permanente en la historia pasada y futura de las ciencias[35]" (p. 90).

En contraste, Feest y Sturm (2011) señalan que la epistemología histórica puede abordarse mediante un enfoque constituido por diversas perspectivas, examinando la producción del conocimiento en una época histórica determinada. Es así como argumentan que "hay una tendencia universalizadora en la epistemología y la filosofía de la ciencia: una tendencia no solo a analizar su objeto de estudio (…) sino también a asumir que los resultados de tales análisis poseen algún

---

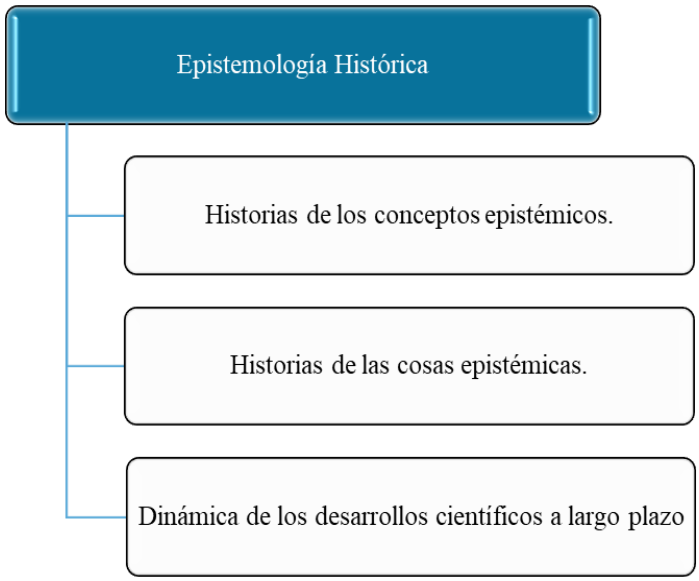
[33] "Historicization of epistemology thus also means subjecting the theory of knowledge to an empirical-historical regime, grasping its object as itself historically variable, not based in some transcendental presupposition or a priori norm".

[34] "it is up to historical epistemology, insofar as it takes seriously its own actualistic claim of seeking to rise to the level of its age in relation to the most recent scientific developments, that it transcends itself and understands its own knowledge production as a process of historical change. (...) Historical epistemology, (...), not only has to do with the historicity of the sciences but is itself a historical enterprise".

[35] "Historical epistemology has its own permanent laboratory in the past and future history of the sciences".

tipo de validez universal[36]" (pp. 285-286), aclarando que el desarrollo y la producción del conocimiento no pueden comprenderse únicamente desde el contexto en que se generaron. Por ello, esta corriente filosófica no descarta que "el conocimiento siempre está situado en un contexto (biológico, social, histórico, material)"[37] (p. 286). No obstante, Feest y Sturm destacan tres versiones de la epistemología histórica que se representan en la figura 13.

Figura 13. Epistemología Histórica.



Nota. Elaboración propia adaptado de Feest y Sturm (2011)

De ahí que los conceptos epistémicos deben considerar que detrás de ellos hay una historia de la cual emergieron, por lo que Feest y Sturm argumentan

> No se puede dar por sentado que los conceptos epistémicos (…) posean una naturaleza ahistórica que pueda identificarse mediante el análisis conceptual. Más bien, estos conceptos, y los estándares e ideales con los que se conectan, suelen surgir con prácticas y contextos específicos, con el tiempo se transfieren a nuevos ámbitos de aplicación y, en ocasiones, se generalizan tanto que creemos que carecen de historia[38] (p.289).

[36] "There is a universalizing tendency in epistemology and philosophy of science: a tendency to not only analyze its subject matter (…) but also to assume that the results of such analyses possess some kind of universal validity".
[37] "knowledge is always situated in a context (biological, social, historical, material)".
[38] "One cannot take for granted that epistemic concepts (…) possess an ahistorical nature that can be identified by means of conceptual analysis. Rather, these concepts, and the standards and ideals to which they are connected,

En este aspecto, *las cosas epistémicas* se abordan desde la influencia de Rheinberger (2010), enfocándose en los aspectos materiales y "no sobre la cuestión de cómo se relacionan la mente y el mundo —una cuestión que, según afirma con audacia—, ha estado demasiado presente en el centro de la epistemología tradicional[39]" (Feest & Sturm, 2011, p. 292). Es así como él interpreta que las herramientas, dispositivos y técnicas que permiten recrear fenómenos para lograr una investigación profunda se convierten en cosas epistémicas.

Por lo tanto, se enfoca más en cómo crear las condiciones tanto materiales como históricas para lograr que se conviertan en objetos de conocimiento; no obstante, conocer la historia de un objeto o entidad en específico para interpretar un fenómeno no es lo esencial, sino comprender cómo a través de este emerge una ontología que legitima el sistema experimental. Entonces, más allá del "qué es" el *objeto* o la *cosa*, el enfoque está en cómo esa *cosa* se convierte en algo epistémicamente significativo.

La tercera designación frente a esta postura de la epistemología histórica de Feest y Sturm, denominada *dinámica de los desarrollos científicos a largo plazo* se constituye a partir de las transformaciones que surgen en el conocimiento científico a largo plazo, sean estas continuas o discontinuas. Por lo tanto, una "epistemología histórica del conocimiento científico, el carácter a largo plazo del desarrollo del conocimiento, la compleja arquitectura del conocimiento y los intrincados mecanismos de la dinámica del conocimiento[40]" (Renn, 2004, p. 643) comprende procesos estructurales de representaciones del conocimiento que se desarrollan dentro de las comunidades, adaptándose mediante sus lenguajes, símbolos y recursos experimentales.

Estas tres líneas, frente a la epistemología histórica, permiten establecer que la ciencia es transformable según su condición histórica, constituyéndose en una empresa analítica y crítica que investiga los contextos históricos bajo los conceptos epistemológicos. De este modo, se muestra que el conocimiento, a lo largo de la historia, es el resultado de procesos sociales, culturales y científicos, y que, a la vez, es cambiante.

---

typically emerge with specific practices and contexts, over time become transferred to new domains of application, and sometimes become so general that we think they have no history".

[39] "Not on the question of how mind and world are related - a question he boldly claims to have been too much at the center of traditional epistemology".

[40] "a historical epistemology of scientific knowledge: the long-term character of knowledge development, the complex architecture of knowledge, and the intricate mechanisms of knowledge dynamics".

La epistemología histórica sigue la línea tanto del historicismo como del realismo científico, y no se basa en contar o registrar una cronología ni en narrar anécdotas de la historia. También muestra la importancia de conocer e interpretar la problemática que condicionó las diferentes épocas para conformar las estructuras de los diversos conocimientos que hoy en día existen y han evolucionado "la historia es (…) el sentido de la posibilidad. Conocer es menos apuntar contra algo real que validar un posible convirtiéndolo en necesario" (Canguilhem, 1985, p. 7). Se entiende así que las teorías científicas no son absolutas, sino que se transforman.

En este sentido, Canguilhem (2009) argumenta que "la epistemología es convocada a proporcionar a la historia el principio de un juicio, el enseñarle el último lenguaje hablado" (p. 15), es decir, debe existir una mirada crítica para poder discriminar, evaluar y comprender cómo se ha transformado el conocimiento desde el contexto histórico abordado, aportando así la capacidad de interpretar las configuraciones del saber científico. Asimismo, "el conocimiento, y en particular el conocimiento científico, es un producto social y no tiene más definición que la que le otorga el contexto social en el cual se genera" (García, 2006, p. 120). En este orden de ideas, la adquisición histórica de la sociedad conduce a la epistemología histórica; por consiguiente, esta debe constituirse desde una conciencia crítica, interrogando las condiciones mismas del conocimiento y sus transformaciones para lograr comprender qué es el conocimiento (Daston, 2017; Queijo, 2021; Queijo & Passos, 2023).

Para concluir, la epistemología histórica no consiste en narrar el pasado científico ni en legitimar sus teorías; esta corriente de la filosofía de la ciencia proporciona una mirada crítica sobre la constitución del conocimiento desde el contexto histórico, indagando en las posturas conceptuales y sociales. Se desliga definitivamente de la percepción de que el conocimiento científico es lineal y acumulativo, entendiendo que el conocimiento es transformable y, a la vez, ligado al contexto histórico del cual emergió, de modo que, desde su epistemología, se configura para darle una interpretación en la actualidad.

En este momento, una vez expuestas las corrientes de la Historia y Filosofía de la Ciencia que aportan a la comprensión del espacio-tiempo mediante los tipos de razonamiento que los estudiantes desarrollan, se muestra la necesidad de articular estas tres corrientes para dar coherencia al razonamiento de los estudiantes y, de este modo, fomentar el Pensamiento Crítico en torno a la construcción y evolución del conocimiento científico.

Cada una de estas corrientes aporta elementos clave para entender tanto la interpretación histórica del espacio-tiempo como la estructuración del conocimiento, lo que permite contribuir a la comprensión del espacio-tiempo como entidades y no como conceptos independientes. Además, se adapta a una visión profunda y crítica del conocimiento científico.

Figura 14. Triángulo, corrientes de la Historia y Filosofía de la Ciencia

Nota. Elaboración propia

Esta triangulación, representada en la figura 14, permite identificar las corrientes históricas y filosóficas adaptadas para la interpretación del espacio-tiempo en el razonamiento de los estudiantes, dado que articula cómo estos comprenden el espacio-tiempo y lo asocian a leyes, identificando su evolución tanto cultural como histórica y los instantes en que las teorías fueron sometidas a rupturas epistemológicas que transformaron el conocimiento. Finalmente, estas tres corrientes contribuyen al desarrollo del Pensamiento Crítico mediante la caracterización de los tipos de razonamiento.

Capítulo IV

"El tiempo es la manera que tiene la naturaleza de evitar que todo suceda a la vez"
(Carroll, 2015, p. 25)

Dentro del marco investigativo precedente, este capítulo desarrolla de manera detallada la metodología que presenta los criterios que guiaron el diseño, la aplicación y el análisis de la secuencia de razonamiento en el aula, con el propósito de fomentar las habilidades de Pensamiento Crítico en los estudiantes de educación secundaria. Este apartado constituye un puente indispensable para articular la estructura teórica con la práctica y examinar los procesos de razonamiento de los estudiantes al enfrentarse a contextos históricos y filosóficos del espacio-tiempo.

Metodología de Investigación

El presente capítulo expone la metodología de investigación doctoral; esta se planteó a través de una investigación cualitativa con un enfoque interpretativo, basada en los aspectos que brinda la hermenéutica para el diseño y el análisis de los resultados, donde finalmente se determinaron los tipos de razonamiento de los estudiantes frente a los objetivos planteados.

Merlino (2021) define la investigación cualitativa como el "producir teoría, es decir: elaborar una propuesta teórica micro que dé cuenta del problema de investigación abordado" (p. 30). Por lo tanto, este tipo de investigaciones permite generar una serie de datos que llegan a ser descriptivos, basándose en las expresiones de los participantes, ya sean verbales o escritas (Taylor & Bogdan, 1994), los cuales posibilitan comprender e interpretar la perspectiva de los sujetos, logrando así una exploración de los fenómenos abordados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En este sentido, Strauss y Corbin (2002) proponen una estructura base que se enfoca en tres elementos; en primera instancia, presentan que la recolección de datos proviene de registros, observaciones y documentos; en segundo lugar, se encuentra el proceso de interpretación para la

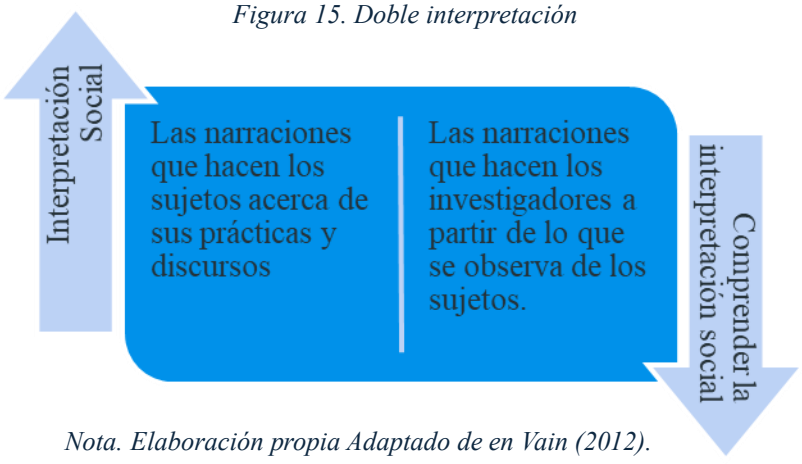
organización de los datos, conceptualizándolos y codificándolos; y, por último, la elaboración del respectivo informe o presentación, lo que permite construir teoría, a esto lo denominaron teoría fundamentada.

Por lo tanto, comprendiendo los alcances que brinda la investigación cualitativa, la cual no solo se limita a la recolección de datos, sino que permite obtener una interpretación no solo conceptual, sino también orientada a favorecer y ampliar la comprensión en la construcción y el desarrollo del conocimiento. Es así como esta investigación se basó en un enfoque interpretativo, mediante el conjunto de utilidades que ofrece el método hermenéutico de Ricoeur en el análisis de resultados, buscando caracterizar los tipos de razonamiento en la comprensión del espacio-tiempo a través de la Historia y Filosofía de la Ciencia, los cuales contribuyen al fortalecimiento de habilidades de Pensamiento Crítico en los estudiantes de secundaria.

Enfoque Interpretativo

La investigación cualitativa, desde el enfoque interpretativo, implica un proceso de doble interpretación (figura 15); en primer lugar, se orienta a comprender cómo los participantes o individuos logran construir la realidad en su interacción con el entorno social. En segundo lugar, recae en el investigador, dado que este debe interpretar cómo dichos individuos configuran sus propias experiencias (Vain, 2012).

Figura 15. Doble interpretación



Nota. Elaboración propia Adaptado de en Vain (2012).

El enfoque interpretativo, según la articulación propuesta por Gadamer (1975), se entiende como un intercambio constante entre quien interpreta y lo que es interpretado; es un proceso de traducción que debe ser regulado críticamente por la comprensión misma del investigador (Marcus & Cushman, 1996), quien no debe posicionarse desde una mirada neutral, sino examinar sus propios supuestos de manera reflexiva como parte de la interpretación. La construcción entre el intérprete y lo interpretado se denomina fusión de horizontes, en donde la interpretación no es ajena a la perspectiva del investigador; sin embargo, esta permite que emerja un nuevo sentido, llevando a una comprensión más profunda y situada del fenómeno (Gadamer, 1999).

Asimismo, el paradigma interpretativo se aleja de un enfoque centrado únicamente en la explicación causal (*Erklären*), es decir, en una búsqueda general que analiza los fenómenos desde fuera; Wilhelm Dilthey postula, para la interpretación, la comprensión (*Verstehen*) como un proceso que permita al investigador captar las acciones y expresiones de los participantes (González, 2001), además, propone una hermenéutica que posibilite la interpretación y conlleve a una relación de diálogo entre el intérprete y lo interpretado.

Siguiendo con esta perspectiva, Rüegger (2008) profundiza en el paradigma interpretativo señalando que "todo conocimiento científico es el resultado de una interpretación"[41] (p. 2); por consiguiente, es importante reconocer que la interpretación es inherente a la forma de todo tipo de conocimiento. En la Enseñanza de la Ciencia, y en el marco de los objetivos de esta investigación, los estudiantes no solo adquieren datos, sino que construyen significados a través de su razonamiento, alineándose con la perspectiva hermenéutica y evidenciando que el aprendizaje es un acto de interpretación tanto histórico como dialógico.

El enfoque interpretativo no establece variables estructuradas ni fijas; se centra en la comprensión del investigador respecto de cómo los participantes —estudiantes— construyen y transforman su conocimiento mediante su experiencia, durante el desarrollo de sus concepciones frente al fenómeno o situación abordada —espacio-tiempo—. Por lo tanto, esta forma de interpretación se vincula con la hermenéutica, entendida no como un método, sino como una forma profunda de comprensión del lenguaje, el contexto y la experiencia, que puede fundamentarse en el círculo hermenéutico (Klein & Myers, 1999). Por lo anterior, esta apuesta metodológica da paso

[41] „Jede wissenschaftliche Erkenntnis ist das Ergebnis einer Deutung".

a complementar el enfoque interpretativo con el círculo hermenéutico de Paul Ricoeur (2008), relacionándolo en tres momentos, preconfiguración, configuración y refiguración, que se convierten en la base metodológica para el análisis de cómo emergen los tipos de razonamiento en la comprensión del espacio-tiempo en los estudiantes, mediante los aportes que brindan la Historia y Filosofía de la Ciencia.

Enfoque hermenéutico

Paul Ricoeur (2008) señala que el problema de la "hermenéutica es el de la interpretación" (p. 53); el círculo o arco hermenéutico planteado por él está basado en tres momentos: la preconfiguración, la configuración y la refiguración (Cañón et al., 2017), también conocidos como las tres *mímesis* en la interpretación narrativa. Por lo tanto, la dinámica del enfoque hermenéutico de Ricoeur da por sentado "que el sentido primordial de la palabra 'hermenéutica' se refiere a las reglas requeridas para la interpretación de los documentos escritos de nuestra cultura" (Silva, 2016, p. 34); es decir, el investigador activa un proceso de diálogo y reflexividad en el que analiza el texto, debiendo caracterizar tanto sus propios marcos conceptuales como los del contenido, lo que permite una interpretación profunda y contextualizada. En este sentido, "dialoga con el texto, interrogándolo y buscando respuestas a sus preguntas, e interpreta el texto en un recorrido de ida y vuelta entre las partes y el todo del texto" (Quintana & Hermida, 2019).

La hermenéutica puede considerarse como una forma de interpretación que pretende desglosar el sentido de los textos y cómo se han constituido y transformado a lo largo de la historia y de los sistemas culturales de la humanidad (Arráez et al., 2006). Es así como el paradigma interpretativo-hermenéutico reconoce que los fenómenos sociales son dinámicos y complejos, pero en constante cambio, y que se encuentran inmersos en lo que el ser humano experimenta, construye y resignifica continuamente (Barrero et al., 2011).

Ahora bien, es importante comprender que el círculo hermenéutico no es una secuencia lineal ni tampoco debe entenderse como un "círculo vicioso"; Ricoeur (1995) lo define como

> no se puede negar que el análisis sea circular. Pero puede refutarse que el circulo sea vicioso. A este respecto, preferiría hablar más bien de una espiral sin fin

> que hace pasar la meditación varias veces por el mismo punto, pero a una altura diferente (p. 141).

Desde esta perspectiva, se observa que el enfoque hermenéutico permite abrir el arte de la interpretación desde una mirada crítica y reflexiva, teniendo en cuenta que la interpretación no consiste en resumir un texto o discurso, sino en que "lo que se debe comprender no es […] al que habla detrás del texto, sino aquello de lo cual se habla […] el tipo de mundo que la obra despliega" (Ricoeur, 2008, p. 87). Por consiguiente, comprender al otro —en este caso investigativo, al estudiante— a través de sus respuestas permite conocer el tipo de razonamiento que está llevando a cabo, identificando sus horizontes culturales, históricos y filosóficos a partir de sus preconcepciones y experiencias.

Con base en lo anterior, el enfoque interpretativo-hermenéutico permite abordar la comprensión del espacio-tiempo en la física y los tipos de razonamiento de los estudiantes, contribuyendo al desarrollo de su Pensamiento Crítico mediante los procesos de construcción interpretativa que se van desplegando desde la Historia y Filosofía de la Ciencia. Tanto es así que el círculo hermenéutico constituye un eje central para el abordaje de esta investigación, y los tres momentos que lo acompañan configuran la estructura de análisis en la comprensión del espacio-tiempo.

Preconfiguración

La preconfiguración, también identificada como *mímesis I*, parte de un supuesto que no está vacío, sino de algo que ya se encuentra preestructurado (Ricoeur, 1995); es el "estadio prefigurativo, [donde] se trata de entrever la precomprensión de lo constituyente del discurso, de lo dado como punto de referencia, aquello que da forma al discurso" (Silva, 2016, p. 41), una organización simbólica que está predeterminada por normas y costumbres, dando sentido a nuestra experiencia antes de configurar una narrativa más amplia. Ricoeur (1995) establece este inicio como una "estructura prenarrativa de la experiencia" (p. 124); a ello, Silva (2016) lo clarifica como "la estructura prenarrativa, a las características simbólicas y temporales del mundo ordinario de la acción" (p. 251); es decir, existen estructuras dadas temporalmente que nacen de la experiencia.

Ahora bien, la preconfiguración en el ámbito educativo permite relacionar las experiencias propias del estudiante con las características simbólicas y culturales cuando se enfrenta a una nueva situación de aprendizaje, dado que debe incluir sus experiencias previas, contextos socioculturales, creencias y saberes. Por lo tanto, la comprensión del espacio-tiempo y su razonamiento no comienzan desde cero, pues desde su cotidianidad el estudiante ya ha establecido un significado. De este modo, esta etapa inicial del círculo hermenéutico permite identificar las concepciones del espacio-tiempo que poseen los estudiantes, así como sus modos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo—.

Configuración

La configuración o mímesis II corresponde a la organización de las experiencias en forma narrativa-discursiva, desarrollando una coherencia y comprensión del fenómeno abordado; es decir, estructura las prefiguraciones. Ricoeur (1995) la define como "la construcción de la trama" (p. 132). En este sentido, consiste en organizar e integrar todos los medios para darle sentido, construyendo un principio y un fin en la historia narrativa, "la disposición configurante transforma la sucesión de los acontecimientos en una totalidad significante […] este acto reflexivo, [por el cual] toda la trama puede traducirse en un 'pensamiento'" (p. 134). Por lo tanto, no solo se organiza, sino que también se integra, generando una mediación entre la comprensión previa y la posterior; es decir, entre la experiencia vivida y la comprendida (Ricoeur, 1995).

Por ende, la "*mímesis II* consigue su inteligibilidad de su facultad de mediación, que consiste en conducir del antes al después […] trasfigurar el antes en después por su poder de configuración" (Ricoeur, 1995, p. 114). En el marco de esta investigación, se concibe la configuración cuando los estudiantes logran confrontar sus preconcepciones con los contenidos históricos y filosóficos desarrollados en las actividades de aplicación, lo que les permite configurar su narrativa personal.

Ahora bien, durante la aplicación con los estudiantes en esta etapa se desarrollaron cuatro actividades que contenían sucesos históricos y filosóficos relacionados con la concepción del espacio-tiempo a lo largo de la historia, con el propósito de que ellos configuraran sus narrativas, teniendo en cuenta que "una historia debe ser más que una enumeración de acontecimientos en

serie; ella debe organizarlos en una totalidad inteligible" (Ricoeur, 1995, p. 132). En este sentido, se evidencian los elementos que se integran y estructuran en su tipo de razonamiento, dado que "la narración pone de manifiesto […] todos los componentes capaces de figurar en el cuadro paradigmático establecido por la semántica de la acción" (Ricoeur, 1995, p. 132). Así, la construcción de esta narración consiste en una operación que reorganiza una serie de eventos o hechos, adquiriendo coherencia y dirección en torno a la idea central establecida y dándole sentido (Silva, 2016).

Refiguración

Mímesis III, también denominada refiguración, representa el momento en el que el sujeto comprende el texto —fenómeno trabajado— y se apropia de él, resignificando su experiencia a partir de lo comprendido. En este momento, "la narración tiene su pleno sentido cuando es restituida al tiempo del obrar y del padecer en la *mímesis III*" (Ricoeur, 1995, p. 139); ya no es alguien pasivo frente al texto o a lo abordado, sino que ha transformado su discurso narrativo. El recorrido por los tres momentos muestra una transformación en la comprensión; Ricoeur lo expresa así "comprender es comprenderse ante el texto […] recibir de él un yo más vasto […] la comprensión es entonces tanto desapropiación como apropiación" (pp. 109-110). Esto conlleva a que el estudiante interprete, reflexione y transforme su forma de pensar frente al fenómeno abordado —espacio-tiempo—.

Esta culminación del círculo hermenéutico se articula con la encuesta final aplicada en la secuencia de razonamiento con los estudiantes, evidenciando las reflexiones concluyentes y la transformación tanto narrativa como conceptual. En este proceso se determinan los tipos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo—, partiendo de sus conclusiones y reformulándolas, estructurando su comprensión y transformando su conocimiento en torno a la comprensión histórica y filosófica del espacio-tiempo.

Relación Enfoque Hermeneútico con los tipos de Razonamiento

Desde esta perspectiva del enfoque interpretativo-hermenéutico, se establece que el estudiante se encuentra en un proceso dinámico de interpretación del espacio-tiempo a lo largo de

la historia; asimismo, este enfoque ofrece una estructura para el uso de la metodología en las aulas de clase, orientada a la comprensión de un fenómeno dado. El proceso de preconfiguración, configuración y refiguración implica una transformación progresiva del estudiante, dado que no solo debe captar la información de los sucesos históricos y filosóficos, sino también interpretarlos y resignificarlos, articulando el razonamiento inductivo, deductivo y abductivo para el desarrollo de su Pensamiento Crítico.

Aunque en los tres momentos pueden coexistir los tipos de razonamiento antes descritos, puede prevalecer uno sobre los otros; sin embargo, se puede considerar que en la preconfiguración (*mímesis I*), como punto de partida del proceso hermenéutico, se estructura un mayor razonamiento inductivo, dado que este se encuentra influenciado por la experiencia personal y la forma espontánea en la organización del conocimiento previo, así como en las generalidades de la observación del fenómeno o en la comprensión y descripción del espacio-tiempo. En la configuración (*mímesis II*) se construye la narrativa y se organiza la preconfiguración, relacionándose con el razonamiento deductivo y abductivo, dado que se interpreta y concreta con mayor coherencia las teorías científicas y los relatos históricos presentados, llevándolos a mediar su experiencia con un nuevo conocimiento. Por ende, el razonamiento deductivo se mantendrá de forma lógica y secuencial, mientras que el abductivo implicará un cambio epistémico profundo, generando nuevas hipótesis que no encajan con el *presaber*.

Y, por último, la refiguración *(mímesis III)* puede entenderse como la comprensión del fenómeno que transforma la realidad; en esta etapa, el razonamiento abductivo se potencia aún más, dado que el estudiante reinterpreta el mundo a partir de las nuevas hipótesis que ha planteado, modificando el acto de comprender y sustentando una coherencia narrativa que transforma su pensamiento. Sin embargo, en los tres momentos del círculo hermenéutico pueden presentarse todos los tipos de razonamiento, o bien de manera segmentada, dado que este proceso no consiste en enseñar contenidos, sino en desarrollar el Pensamiento Crítico, formando sujetos capaces de comprender la construcción y evolución del conocimiento.

Estilos de Razonamiento

Comprender la construcción del conocimiento científico por parte de los estudiantes requiere llevar al aula estructuras lógicas que se aparten de las tradicionales; esto conlleva a generar una profunda interpretación sobre dicho conocimiento. El enfoque interpretativo-hermenéutico muestra que no es un método aplicativo de reglas, sino un proceso que transforma tanto lo que se interpreta como al intérprete. Ricoeur (2008) señala que "la interpretación tiene connotaciones subjetivas específicas, tales como la implicación del lector en el proceso de comprensión y la reciprocidad entre la interpretación del texto y la interpretación de sí mismo" (p. 39). Por ello, el estudiante, al enfrentarse al conocimiento científico, también se confronta consigo mismo, dado que debe leer, interpretar y resignificar su propio sentido.

Por consiguiente, es fundamental considerar la propuesta de Ian Hacking acerca de los estilos de razonamiento, dado que estos muestran diferentes maneras de pensar, preguntar, experimentar y construir verdad en las disciplinas científicas. Guillaumin (2005) retoma a Hacking y muestra que los estilos de razonamiento surgen cuando se adquieren nuevos objetos de estudio, nuevas preguntas e incluso un nuevo lenguaje, dado que no existe una única forma de razonar científicamente; esto es lo que otorga una fundamentación crítica, al entender que la ciencia se construye de diferentes maneras. En esta línea, Castro (2018) señala que los estilos y prácticas en la ciencia abren caminos para explorarla desde una mirada histórico-filosófica, identificando que tanto el conocimiento teórico como práctico están ligados a una forma particular de racionalidad.

De este modo, no solo son primordiales los contenidos que enmarcan la construcción del conocimiento, también la manera en que se conciben y validan; Hacking, al desarrollar la propuesta de estilos de razonamiento, muestra que la ciencia es una pluralidad tanto histórica como en sus modos de pensar, clasificar y producir; es decir, en la comprensión y construcción del conocimiento "ha emergido un nuevo espacio de posibilidades, junto con nuevos criterios sobre las preguntas que hay que formular y la forma de responderlas" (Hacking, 2001, p. 283).

Además, Hacking no plantea que los estilos de razonamiento se limiten únicamente al pensamiento científico; estos también se articulan con la manera en que se valida el conocimiento en cada disciplina, argumentando que "cada forma de descubrimiento introduce sus propios

criterios de evidencia, prueba y demostración. Cada una determina los criterios de veracidad que se aplican en su propio dominio[42]" (Hacking, 2009, pp. 47-48).

En este contexto, es importante resaltar que, para Hacking, el estilo de razonamiento no es una simple forma de razonar (Sciortino, 2017); más bien, consiste en "no solo descubrir 'qué' algo es así, también es descubrir 'cómo hacerlo'. Descubrir qué es verdadero y descubrir cómo cambiar las cosas[43]" (Hacking, 2012, p. 601). En este sentido, es fundamental distinguir entre los estilos de razonamiento, que permiten configurar los modos de validación y objetividad del conocimiento, y los tipos de razonamiento abordados en esta investigación —inductivo, deductivo y abductivo—, los cuales se definen como estructuras lógicas inmersas en dichos estilos; como afirma Hacking, "la deducción, inducción y la abducción no son estilos de pensamiento científico… son presupuestos… de cada estilo[44]" (2009, pp. 45-46); es decir, los estilos permiten activar los tipos de razonamiento en el estudiante al enfrentarse a una problemática, validando así un nuevo conocimiento.

Configuración Metodológica

La metodología cualitativa introducida en esta investigación permite abordar directamente el problema investigativo; el enfoque interpretativo-hermenéutico no solo posibilita analizar lo que los estudiantes argumentan y razonan frente a la situación y comprensión del espacio-tiempo, también dan sentido a cómo se construye el conocimiento científico. Los aportes que brinda la Historia y Filosofía de la Ciencia sustentan que comprender no es una técnica o una regla dada; por el contrario, es un proceso de interpretación constante mediado por el círculo hermenéutico, que faculta al estudiante para enfrentarse a los saberes científicos e históricos.

Por ende, la hermenéutica, entendida desde Paul Ricoeur y su estructuración en *preconfiguración, configuración y refiguración*, posibilita recorrer caminos y analizar cómo los

[42] "Each way of finding out introduces its own criteria of evidence, proof and demonstration. Each determines the criteria of truth-telling that applies in its own domain. That leads to a somewhat radical thesis about truthfulness and objectivity".
[43] "Not only finding out 'that' so and so, but also, finding 'how to'. Finding out what's truem abd finding out how to change thing".
[44] "Deduction, induction, and abduction are not styles of scientific thinking … They are rather presupposed … by every style".

estudiantes logran construir e interpretar las entidades de espacio-tiempo, permitiéndoles asociar sus experiencias y conocimientos con el saber científico e histórico. El círculo hermenéutico, además de proporcionar la interpretación de los cambios y la transformación en la comprensión del espacio-tiempo a lo largo de la historia, también muestra cómo emerge el Pensamiento Crítico en la capacidad de razonar y reinterpretar estas entidades.

Asimismo, tener en cuenta la noción de estilos de razonamiento de Ian Hacking dentro de la estructura del enfoque interpretativo-hermenéutico evidencia que la construcción del conocimiento científico no es un método homogéneo; en cambio, constituye una pluralidad que, a lo largo de la historia, se ha desarrollado de diversas maneras, con criterios de evidencia, prueba y validación; esto permite reconocer las diferentes formas con las que se ha concebido el espacio-tiempo.

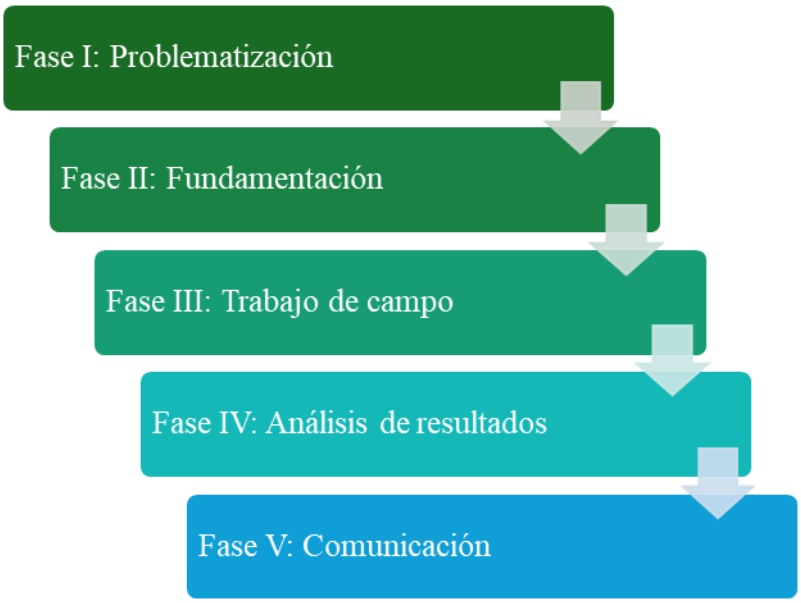
Adicionalmente, constituye un aporte significativo en el campo educativo y en la Enseñanza de la Ciencia en secundaria, ofreciendo mecanismos y reflexiones para repensar qué se enseña y cómo se enseñan las temáticas que, a lo largo de la historia y de la física misma, han sido objeto de controversia, como la interpretación del espacio-tiempo. De este modo, los tipos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo— son fundamentales para constituir los estilos de razonamiento en los marcos conceptuales y epistemológicos que los estudiantes puedan desarrollar, entendiendo el razonamiento como una habilidad del Pensamiento Crítico que les permite organizar sus ideas, construir argumentos y generar hipótesis frente a los contextos históricos y filosóficos en que se enmarca el espacio-tiempo y frente a las diferentes problemáticas que puedan presentarse.

Finalmente, este constructo metodológico de la hermenéutica en el razonamiento permite analizar e interpretar las respuestas de los estudiantes para observar la construcción del conocimiento en el aula y su transformación, a medida que van configurando críticamente los conceptos científicos abordados y dando forma a la manera en que comprenden y dan utilidad a la ciencia.

Diseño Metodológico

La presente tesis doctoral se enmarca en la propuesta del enfoque interpretativo-hermenéutico, teniendo en cuenta los estilos de razonamiento y la caracterización de los tipos de razonamiento, los cuales permitieron orientar a los estudiantes en el desarrollo del Pensamiento Crítico respecto a la configuración de las entidades del espacio-tiempo, a partir de su conocimiento y de la interacción con el pensamiento histórico y filosófico. Por lo tanto, se estructuró una ruta compuesta por cinco fases que diera respuesta directa al objetivo general de la investigación, siendo estas

Figura 16. Fases de la investigación.



Nota. Elaboración propia

FASE I, PROBLEMATIZACIÓN: consistió en la formulación de la problemática de investigación mediante una revisión del estado del arte frente a los estudios realizados sobre Pensamiento Crítico, Historia y Filosofía de la Ciencia y espacio-tiempo en el contexto escolar de la educación secundaria. Esta revisión documental, expuesta en el capítulo uno, permitió identificar los alcances que han tenido estas categorías en este nivel educativo, así como la escasa enseñanza y comprensión del espacio-tiempo en las aulas de secundaria, fortaleciendo de este modo la pertinencia de esta investigación doctoral y mostrando la necesidad de desarrollar una

interpretación de los tipos de razonamiento en los estudiantes desde la mirada del círculo hermenéutico de Ricoeur.

FASE II, FUNDAMENTACIÓN: se constituye en el marco teórico, donde se abordan en profundidad los tipos de razonamiento y la importancia del Pensamiento Crítico, junto con la postura de la Historia y Filosofía de la Ciencia, que dan cuenta de la construcción del conocimiento científico y de su desarrollo en la configuración del espacio-tiempo a lo largo de la historia.

FASE III, TRABAJO DE CAMPO: en esta fase se llevó a cabo la aplicación de la secuencia de razonamiento diseñada, la cual dio cuenta de la puesta en práctica del círculo hermenéutico — preconfiguración, configuración y refiguración— y promovió el ejercicio narrativo por parte de los estudiantes al responder preguntas abiertas. Estas respuestas permitieron identificar los tipos de razonamiento cuando se enfrentaban a la tarea de comprender la construcción del conocimiento científico en torno a las entidades del espacio-tiempo a través de la historia.

FASE IV, ANÁLISIS DE RESULTADOS: se procedió a la interpretación de las respuestas de los estudiantes mediante el enfoque hermenéutico y con el apoyo del software *Atlas.ti*. Se codificaron las narrativas de los estudiantes teniendo en cuenta las categorías de análisis y su articulación con los tipos de razonamiento en las concepciones del espacio-tiempo, lo que permitió explorar cómo configuraban su razonamiento a partir de los aportes que la Historia y Filosofía de la Ciencia les brindaban, y cómo iban adquiriendo una mirada crítica frente a la construcción del conocimiento.

FASE V, COMUNICACIÓN: finalmente, se establecieron las relaciones entre los resultados obtenidos y el marco teórico, así como el enfoque metodológico de la hermenéutica en el razonamiento, analizando la transformación del pensamiento que se produjo mediante la aplicación de la secuencia de razonamiento en la interpretación del espacio-tiempo.

Unidad de análisis

La unidad de análisis está constituida por estudiantes de educación media del sistema educativo colombiano, específicamente aquellos que cursaban grado décimo (10°) y undécimo

(11°). Inicialmente, se contó con la participación de 253 estudiantes que estaban al final de este ciclo escolar y se encontraban distribuidos en cuatro (4) décimos y cuatro (4) undécimos. El promedio de edad de los participantes oscilaba entre 16 y 17 años; esta selección de la población se fundamenta en que, a lo largo de su formación académica en básica primaria y secundaria (1° a 9°), fueron constituyendo nociones de espacio y de tiempo en sus procesos escolares, aunque sin llegar a mayor profundidad.

Desde el enfoque metodológico planteado se definieron tres momentos o etapas para la aplicación de la secuencia de razonamiento, que guiaron la recolección de datos mediante el uso del círculo hermenéutico. Esto permitió observar el desarrollo del pensamiento y su transformación narrativa en la construcción y comprensión del espacio-tiempo; esta secuencia fue revisada y valorada por juicio de expertos (anexo 1).

En primer lugar, se aplica la Etapa I, denominada *Razonamientos iniciales*, la cual consiste en una encuesta de 12 preguntas abiertas contextualizadas que permiten identificar las concepciones iniciales de los estudiantes. Entre estas se incluyen preguntas fundamentales como, ¿cómo podrían explicar o definir qué es el espacio o el tiempo? Esta etapa se articula con la preconfiguración (*mímesis I*) del círculo hermenéutico, haciendo visible el trasfondo de sus saberes implícitos y su razonamiento al enfrentarse directamente con la explicación de las entidades del espacio-tiempo.

En segundo lugar, la Etapa II, denominada *Construcción*, enfrenta al estudiante con cuatro situaciones estructuradas con base en la Historia y Filosofía de la Ciencia, como se muestra en la tabla 2. Estas se clasificaron y cada actividad iniciaba con una propuesta histórica acompañada de la formulación del autor de la época abordada acerca del espacio-tiempo; posteriormente, se articulaban con preguntas abiertas. Esta etapa de construcción se vincula a la configuración (*mímesis II*) del círculo hermenéutico, en donde los estudiantes interpretan estos contextos históricos para construir su narrativa en la comprensión de las entidades del espacio-tiempo, activando los procesos que enmarcan los tipos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo—. Tal como señalan Quintana y Hermida (2019), comprender un fenómeno desde su dimensión histórica y explicativa implica también una racionalización progresiva que transforma la comprensión del sujeto.

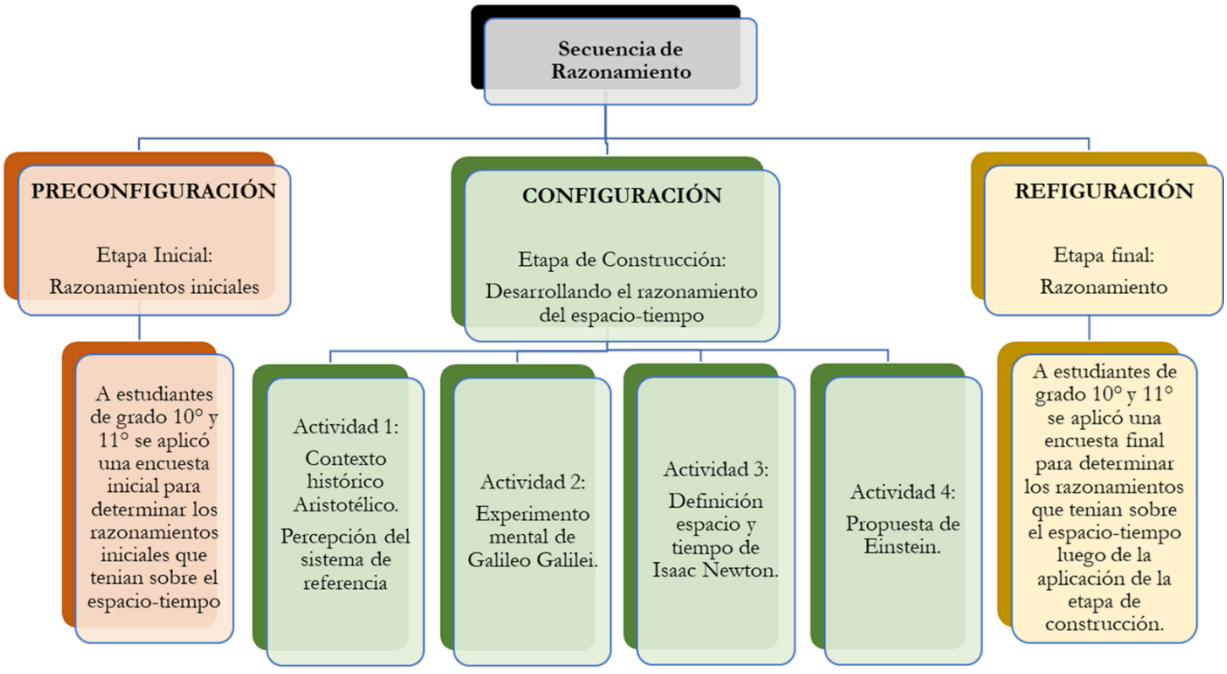
Tabla 2. Actividades etapa II

Actividad 1	Contexto histórico aristotélico	9 preguntas abiertas
Actividad 2	Experimento mental de Galileo Galilei	5 preguntas abiertas
Actividad 3	Definición espacio y tiempo de Isaac Newton	3 preguntas abiertas
Actividad 4	Propuesta de Einstein	6 preguntas abiertas

Nota. Elaboración propia

Finalmente, la Etapa III, denominada *Razonamiento final*, corresponde a la encuesta que indaga la profundidad del razonamiento del estudiante en torno a la interpretación del espacio-tiempo. Esta se relaciona con la refiguración (*mímesis III*) del círculo hermenéutico, permitiendo observar cómo la secuencia de razonamiento descrita en la figura 17 generó en los estudiantes modos de razonar sobre la interpretación del espacio-tiempo a través de la historia y les permitió desarrollar el Pensamiento Crítico.

Figura 17. Secuencia de Razonamiento.



Nota. Elaboración Propia

Mediante la aplicación de la secuencia de razonamiento y el análisis de las respuestas de los estudiantes, fue posible identificar los tipos de razonamiento que aplicaron, no solo desde una estructura lógica para explicar un fenómeno, sino también desde una validación histórica y de veracidad que les permitió relacionar su razonamiento como una habilidad del Pensamiento Crítico y, al mismo tiempo, abrirse a la comprensión de los modos de construir conocimiento.

Aplicación en el aula

La secuencia de razonamiento se aplicó en su totalidad a los niveles de décimo y undécimo; debido a diferentes actividades institucionales, el número de estudiantes variaba; sin embargo, siempre se mantuvo superior a 200 participantes que hubiesen estado presentes en todas las etapas anteriores. La tabla 3 muestra el cumplimiento de cada actividad descrita en la secuencia de razonamiento.

Tabla 3. Verificación de aplicación

APLICACIÓN	1001	1002	1003	1004	1101	1102	1103	1104
Razonamiento Inicial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Actividad 1 Aristóteles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Actividad 2 Galileo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Actividad 3 Newton	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Actividad 4 Einstein	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Razonamiento Final	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota. Elaboración Propia

Tiempo de aplicación

Esta secuencia de razonamiento fue estructurada bajo la propuesta metodológica planteada en la investigación y se llevó a cabo con el propósito de desarrollar, observar e interpretar los tipos de razonamiento de los estudiantes en relación con la comprensión del espacio-tiempo. Se organizó en tres etapas que comprenden el círculo hermenéutico y se distribuyó en seis sesiones, las cuales fueron desarrolladas progresivamente para lograr que los estudiantes no solo captaran los fundamentos teóricos, sino también activaran sus formas de razonar, interpretar y argumentar.

Tabla 4. Tiempo de aplicación secuencia de razonamiento

Etapa I: Preconfiguración	Una (1) sesión
Etapa II: Configuración	Cuatro (4) sesiones
Etapa III: Refiguración	Una (1) sesión

Nota. Elaboración propia

Población

La Etapa I, que hace referencia al momento de la preconfiguración (*mímesis I*) del círculo hermenéutico, busca identificar tanto las concepciones iniciales que tienen los estudiantes acerca del espacio-tiempo como el tipo de razonamiento que pueden activar antes de intervenir explícitamente con la postura de la Historia y Filosofía de la Ciencia. En esta sesión participaron 253 estudiantes de los grados décimo y undécimo. Se validaron 12 preguntas abiertas, que corresponden a un total de 3036 respuestas analizadas, las cuales evidencian la variedad de ideas previas desde su experiencia y razonamientos que pueden considerarse espontáneos e interpretados desde el análisis hermenéutico del razonamiento.

Posteriormente, en la Etapa II, correspondiente a la configuración (*mímesis II*) del círculo hermenéutico, se desarrollaron cuatro actividades, cada una en una sesión diferente y distribuidas semanalmente. Los pensadores científicos, históricos y filosóficos propuestos fueron: Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein; estas actividades permitían la interacción del estudiante con el objetivo de explorar y comprender el conocimiento científico, accediendo a validar su razonamiento frente a los contextos que enmarcaban el espacio-tiempo. En la tabla 5 se observa la cantidad de respuestas significativas para el análisis correspondiente, lo que permitió evidenciar cómo los estudiantes iban reorganizando sus concepciones iniciales; es decir, basándose en la teoría hermenéutica, configuraban sus prefiguraciones al relacionarse con los marcos históricos y filosóficos de las diferentes épocas.

Tabla 5. Población participante

Sesión	N° Participantes	N° Preguntas	N° Total de respuestas
Razonamiento Inicial	253	12	3036
Actividad 1: Aristóteles	224	9	2016
Actividad: 2 Galileo	228	6	1368
Actividad: 3 Newton	217	3	651
Actividad: 4 Einstein	218	6	1308
Razonamiento Final	212	7	1484
APLICACIÓN TOTAL	**1352**	**43**	**9863**

Nota. Elaboración propia

En la Etapa III, correspondiente a la refiguración (*mímesis III*) del círculo hermenéutico, la encuesta del razonamiento final estuvo orientada a captar cómo los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia influyeron en los estudiantes para la comprensión del espacio-tiempo y en las diferentes formas de activar los tipos de razonamiento. Esta última etapa permitió rastrear si los estudiantes mantuvieron sus concepciones previas o lograron modificarlas y refigurarlas, constituyendo sus habilidades de Pensamiento Crítico luego de haber realizado el recorrido histórico y filosófico del espacio-tiempo.

Finalmente, la aplicación en conjunto de la secuencia de razonamiento implicó una participación acumulada de 1352 estudiantes, generando así 9863 respuestas escritas y, a su vez, unidades de análisis que constituyen una base sólida para identificar tanto los tipos de razonamiento que pueden emplear los estudiantes como para observar cómo construyen sus estilos de razonamiento al organizar y argumentar sus afirmaciones. De este modo, se establece un diálogo entre la experiencia del estudiante y la historia de la ciencia, configurando un Pensamiento Crítico, una narrativa y una comprensión del espacio-tiempo.

La organización y clasificación de los datos se inició con la transcripción literal y la sistematización de las respuestas provenientes de los estudiantes, constituyendo el primer filtro y garantizando la validez ética en la obtención de la información. Posteriormente, y teniendo en

cuenta los planteamientos teóricos expuestos en los capítulos anteriores, se recurrió al apoyo de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para realizar una clasificación inicial, dada la densidad de los datos recolectados (Ávila, 2025; UNESCO, 2024). Así mismo, se resalta, el componente ético de esta investigación apoyados en las leyes nacionales colombianas de protección de datos y el comité de ética de la Universidad, la secuencia de razonamiento aplicada en el aula fue revisada y valorada por doctores expertos en el campo educativo y en enseñanza de la ciencia. Por consiguiente, una vez obtenida la clasificación inicial, se efectuó una verificación manual que garantizó la coherencia de la información procesada. Finalmente, esta organización y clasificación proporcionó los parámetros para el ingreso de los datos al software *Atlas.ti*, donde se procedió a realizar el análisis hermenéutico.

Categorías de Análisis

Dado el marco metodológico planteado, se requirió una estructura que permitiera el análisis no únicamente de lo que los estudiantes expresaban, también de cómo configuraban sus argumentos mediante el razonamiento al enfrentarse a problemáticas del conocimiento científico, como lo es la entidad teórica del espacio-tiempo. Por lo tanto, se estableció una matriz de categorías de análisis que articulara el círculo hermenéutico con los propósitos investigativos relacionados con los tipos de razonamiento, la Historia y Filosofía de la Ciencia y el espacio-tiempo.

Esta matriz de análisis permite observar las formas de razonamiento y la validez del conocimiento que los estudiantes van adquiriendo; la matriz se conforma por categorías principales, subcategorías asociadas, atributos y marcos de referencia. Esta estructura determinó la coherencia entre los objetivos y su desarrollo, y adicionalmente posibilita analizar el discurso del estudiante durante su proceso interpretativo. La tabla 6 especifica esta matriz de análisis, la cual se elaboró con el apoyo del software *Atlas.ti*.

Tabla 6. Matriz categorías de Análisis

ETAPA I: PRECONFIGURACIÓN	Comprender previamente las condiciones de interpretación, lenguaje y esquemas prexistentes que posibilitan la narración.
ETAPA II: CONFIGURACIÓN	El proceso mediante el cual se conlleva a la comprensión del fenómeno o teoría abordada, estructurando su concepción, organizando y dándole acciones a su interpretación a partir de las preconfiguraciones.

ETAPA III: REFIGURACIÓN	Es el proceso donde se integra la interpretación de la configuración, integrándola con la realidad, apropiándose textual y argumentativamente la comprensión de la teoría abordada.		
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ATRIBUTOS	REFERENCIAS
PENSAMIENTO CRÍTICO (PC) —Tipos de Razonamiento—	Inductivo	Realiza inferencias, hipótesis desde la observación, las cuales deben probarse o refutarse.	Peirce (1878; 1998; 2012); Sanz & Sanz (2006).
	Deductivo	Se generan conclusiones y errores mediante la aplicación de reglas para obtener una interpretación.	Peirce (1878; 1998; 2012); Martin y Valiña (2002).
	Abductivo	Genera y explica hipótesis probables coherentes.	Peirce (1878; 1992; 2012) Orozco (2020); Aliseda (1998).
HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA (HFC)	Realismo Científico	Evaluar modelos de manera objetiva describiendo la realidad.	Putnam (1975) Psillos (1999); Hacking (1996).
	Historicismo	Cambios de paradigmas, diferenciando la formulación de leyes y hechos específicos, en pro de una producción colectiva del conocimiento.	Kuhn (2013); Lakatos (1989); Fleck (1929, 1994, 1986a, 1986b) (Martínez, 2018).
	Epistemología Histórica	Evolución del conocimiento desde las condiciones históricas y sociales, no solo analiza teóricamente, sino experimenta formas de razonamiento en cuanto la manera de percibir e interpretar el conocimiento.	Bachelard (1991); Queijo (2021, 2023); Canguilhem (1985, 2005, 2009); Hacking (2009); Daston (2017).
Espacio-Tiempo (ET)	Percepción del ET	Asocia su apreciación del ET a través de su experiencia personal.	Aristóteles (1995), Kant (2002, 2014); Husserl (2002).
	Absolutismo	Interpretación del ET como entidades absolutas e independientes, identificadas por la experiencia.	Newton (2013); Kant (2002, 2014).
	Relativismo	Según su marco de referencia, se relaciona con el resto del Universo.	Mach (1883), Leibniz (1980 en Rada E.), Einstein (1905, 1986, 2005).

Nota. Elaboración propia

Finalmente, con base en la estructura metodológica expuesta, que determinó el camino para interpretar y comprender la manera en que los estudiantes logran configurar el conocimiento científico desde sus interpretaciones, se identificaron y dialogaron con los marcos de la Historia y Filosofía de la Ciencia. Así pues, el círculo hermenéutico de Ricoeur ofrece un rumbo para conocer la voz de los estudiantes frente a sus tipos de razonamiento, con el apoyo de esta matriz de análisis. En el siguiente capítulo se presentarán los resultados y el análisis de este proceso investigativo, dando cuenta de cómo los estudiantes están pensando e interpretando el espacio-tiempo.

Capítulo V

Es cierto pues que el tiempo, tal como existe, debe estar compuesto por momentos indivisibles. Porque si no pudiéramos llegar nunca en el tiempo a un límite de la división y cada momento -en cuanto que sucede a otro- no fuera perfectamente singular e indivisible, habría un número infinito de momentos coexistentes o partes del tiempo (Hume, 1984, p. 123).

En el presente capítulo se exponen los sistemas de codificación utilizados para el análisis de la secuencia de razonamiento aplicada en el aula y descrita en la sección anterior, estableciendo los atributos necesarios para identificar los tipos de razonamiento (deductivo, inductivo y abductivo) que emergieron en las respuestas de los estudiantes. A través de este proceso se evidencia cómo, a partir de la información dada y de los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia, los estudiantes construyen y articulan sus conocimientos en torno a la interpretación del espacio-tiempo y al desarrollo del conocimiento científico, haciendo uso de sus estructuras lógicas de argumentación mediante el razonamiento.

Codificación

Razonamiento Deductivo

El Razonamiento Deductivo (RD) se concibe como un proceso inferencial mediante el cual se llega a conclusiones que parten de suposiciones, presunciones o hipótesis, y estas se articulan dentro de una relación lógica entre los supuestos y los resultados finales. Martín y Valiña (2002) argumentan que, en este tipo de razonamiento, la conclusión deviene necesariamente de las premisas que se planteen; de tal manera que, si estas son verdaderas, también lo serán las conclusiones, asumiendo que “de acuerdo con la lógica formal, para que una deducción sea correcta, la conclusión debe seguirse necesariamente desde las premisas iniciales” (pp. 225-226).

Esto implica que la validez de un argumento se aparta del enfoque empírico que pueda existir y se sostiene en la generación de una estructura lógica.

En esta misma línea, Peirce[45] (1878) precisa que "toda deducción (…) no es más que la aplicación de reglas generales a casos particulares[46]" (p. 470); en consecuencia, es necesario identificar cómo, mediante este tipo de razonamiento, se aplican reglas y modelos mentales que generan procesos cognitivos complejos. Por esta razón, Peirce describe que la deducción no aporta información nueva a las premisas, en este se limita únicamente a seleccionar un hecho y dirigir toda la atención hacia él, con el fin de considerarlo como "la fórmula lógica de la atención, que es el elemento voluntario del pensamiento[47]" (p. 482). Estas afirmaciones muestran que el razonamiento deductivo no agrega información significativa; sin embargo, cognitivamente activa un campo lógico que permite configurar un proceso orientado hacia una conciencia racional, enfocando el pensamiento en el contenido de lo ya conocido.

Este tipo de razonamiento se vincula con la doble interpretación expuesta por Vain (2012), dado que requiere, por un lado, otorgar validez al argumento y, por otro, constituir procesos cognitivos que activen los esquemas mentales para dar significado a lo ya conocido. En la interpretación del espacio-tiempo en estudiantes de secundaria, este razonamiento les permite focalizarse en la elaboración de conclusiones lógicas incluso en contra de la intuición; alcanzar este tipo de razonamiento posibilita que se convierta en una habilidad cognitiva y lógica para la comprensión del aprendizaje y la adquisición del conocimiento científico, constituyendo así un aporte a su Pensamiento Crítico.

Razonamiento Inductivo

El Razonamiento Inductivo (RI) se presenta en contraste con el RD, dado que se caracteriza por partir de lo particular para llegar a lo general. Sanz y Sanz (2006) lo exponen como "la inferencia se deriva de las premisas, las cuales conducen a la conclusión, un juicio cuya

[45] Las obras de Charles Sanders Peirce han sido traducidas al español y se encuentran reunidas en: *Obra filosófica reunida. Tomo I (1867-1893)* y *Tomo II (1893-1913)*, editados por Nathan Houser y Christian Kloesel (2012), con traducción de Darin McNabb.
[46] "All deduction (…) it is merely the application of general rules to particular cases".
[47] "the logical formula for paying attention, which is the volitional element of thought".

información no está contenida en las premisas" (p. 7); es decir, en la inducción la información inicial posibilita la generación de un nuevo conocimiento que se apoya en la experiencia, por lo que los resultados pueden ser verdaderos o no. Asimismo, los autores señalan que en la inducción "sus hipótesis tienen que probarse o refutarse con otros significados, pues se fundamentan en las experiencias y en las creencias personales" (p. 7).

Este tipo de razonamiento inductivo permite una organización conceptual de la información que puede derivar en la generación de hipótesis; por lo tanto, "la inducción se requiere para comprender la información, evaluarla y generar otra nueva (…) llevar a buen término la toma de decisiones y la resolución de problemas" (p. 15). De este modo, el RI se constituye como una estructura de aprendizaje y de construcción de la comprensión del conocimiento mismo.

Del mismo modo, Peirce (1878) señala que la "inducción es donde generalizamos a partir de una serie de casos en los que algo es cierto y deducimos que lo mismo es cierto para toda la clase[48]" (p. 472), de allí se considera que inicia de lo particular a lo general; en consecuencia, el fundamento de la inducción es inferir "de un conjunto de hechos otro conjunto de hechos similares[49]" (p. 481). Este tipo de razonamiento conlleva a generar procesos de análisis lógicos que permiten proyectar lo observado hacia lo no observado, como dice Peirce "por inducción, concluimos que los hechos, similares a los observados, son ciertos en casos no examinados[50]" (p. 477).

Finalmente, el RI es fundamental para la construcción y comprensión del conocimiento científico, ya que mediante este pensamiento se logra transformar el razonamiento basado en la experiencia y generalizarlo en los hechos. Por consiguiente, el análisis de este tipo de razonamiento a partir de las respuestas de los estudiantes permite comprender cómo elaboran su conocimiento mediante la interpretación del espacio-tiempo, mientras abordan diferentes contextos históricos y filosóficos de estas entidades; a través de las estructuras inferenciales que producen, los estudiantes organizan su pensamiento, lo cual les proporciona una comprensión del conocimiento científico y les permite formar una postura crítica frente a este.

---

[48] "induction is where we generalize from a number of cases of which something is true, and infer that the same thing is true of whole class".
[49] "from one set of facts another set of similar facts".
[50] "By induction, we conclude that facts, similar to observed facts, are true in cases not examined".

Razonamiento Abductivo

El Razonamiento Abductivo (RA) es una forma de generar hipótesis explicativas a partir de diferentes hechos que causan controversia; Orozco (2020) lo define como un "razonamiento que busca explicar las causas de un hecho a partir de una hipótesis" (p. 270), articulando explicaciones tanto intuitivas como contextuales. Por su parte, Peirce (1878) expresa que la

> Hipótesis es donde encontramos alguna circunstancia muy curiosa, que se explicaría por la suposición de que se trataba de un caso de cierta regla general, y a partir de ahí adoptamos esa suposición. O, cuando encontramos que en ciertos aspectos dos objetos tienen una gran semejanza, y deducimos que se parecen mucho en otros aspectos (p. 472).

En este mismo sentido, Aliseda (2006) expresa que

> en términos generales, la abducción es un proceso de razonamiento que se invoca para explicar una observación desconcertante. (...) se formulan hipótesis sobre sus posibles causas, basándose en el conocimiento de las relaciones causales. (...) La abducción consiste en pensar a partir de la evidencia para obtener una explicación, un tipo de razonamiento característico de muchas situaciones diferentes con información incompleta[51] (p. 28).

Es así como, en el marco del Razonamiento Abductivo, se parte de enfoques amplios, contextualizados e hipotéticos que permiten generar explicaciones de los fenómenos considerados razonables.

Adúriz-Bravo y Pinillos (2022) apuestan por el RA como una herramienta epistemológica para la Enseñanza de la Ciencia, dado que permite diversos caminos para que los estudiantes comprendan el proceso del conocimiento científico, dando cuenta de que este no se reduce a un método en específico, por lo que exponen que

[51] Broadly speaking, abduction is a reasoning process invoked to explain a puzzling observation. (...) she hypothesizes about its possible causes, based on her knowledge of the causal relations (...) Abduction is thinking from evidence to explanation, a type of reasoning characteristic of many different situations with incomplete information.

> La abducción científica escolar puede entenderse entonces como una reconstrucción estilizada de la interacción inferencial de un agente con una situación perturbadora que se apoya en las herramientas intelectuales de ese agente y en los «anclajes» proporcionados por las partes «no perturbadoras», más familiares, de la situación (...) El elemento clave en juego aquí es la posibilidad de que los alumnos reconozcan que no saben algo sobre la base del mismo conocimiento que no les ha permitido «saber» (comprender) esa cosa (p. 15).

Esta postura posibilita la construcción de explicaciones científicas escolares a través de hipótesis que los estudiantes elaboran cuando se altera su propia interpretación de los fenómenos; este es un proceso mediante el cual adquieren un Pensamiento Crítico respecto a los límites de su conocimiento y, a la vez, los impulsa a generar posibles explicaciones para resolver lo que desconocen. En este caso, en la interpretación del espacio-tiempo, estas entidades no se basan únicamente en ecuaciones matemáticas, sino que contienen un trasfondo histórico y filosófico, al cual el estudiante puede enfrentarse mediante el desarrollo del RA.

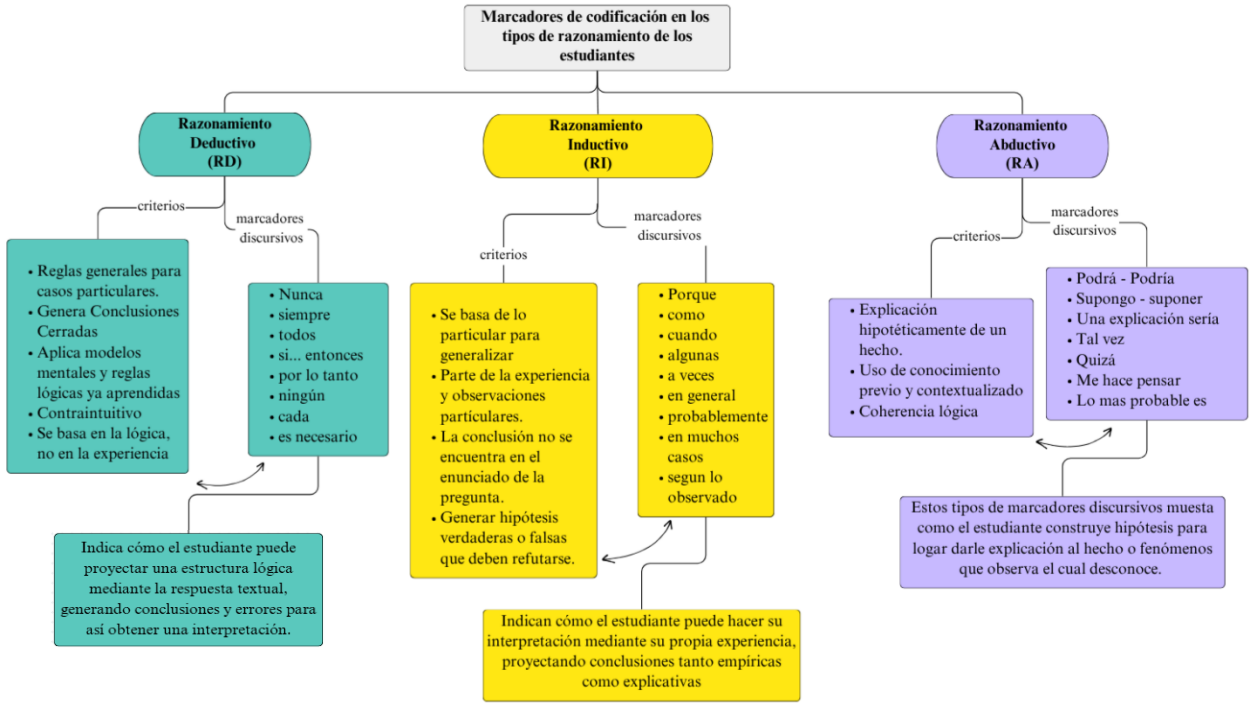
Criterios de Codificación

En el contexto investigativo aquí presentado, identificar los tipos de razonamiento deductivo, inductivo y abductivo que elaboran los estudiantes para la comprensión del espacio-tiempo representa un punto clave en el desarrollo del Pensamiento Crítico. Además, el círculo hermenéutico de Ricoeur fundamenta estas propuestas, dado que las respuestas textuales de los estudiantes muestran que contienen, de manera conjunta, una gramática y un proceso hermenéutico profundo que otorgan coherencia a sus interpretaciones.

Es por eso por lo que las premisas que los estudiantes consideran para dar respuesta a las diferentes situaciones planteadas contienen, de manera implícita o explícita, su posición frente al conocimiento, lo cual otorga relevancia al círculo hermenéutico. Por lo tanto, para el análisis se toman en cuenta marcadores discursivos o conectores como herramientas para la interpretación literal; esto permite rastrear cómo articulan su pensamiento mediante sus discursos textuales, revelando su forma de razonar y de constituir su comprensión del espacio-tiempo.

El análisis a partir de los conectores discursivos que los estudiantes utilizan al plasmar sus respuestas textualmente permite identificar tanto los tipos de razonamiento como las corrientes de la Historia y Filosofía de la Ciencia, Realismo Científico, Historicismo y Epistemología Histórica. Desde esta perspectiva, se refleja cómo los estudiantes clasifican y construyen su razonamiento al interpretar los hechos históricos y filosóficos. En la figura 18 se esquematiza este tipo de codificación.

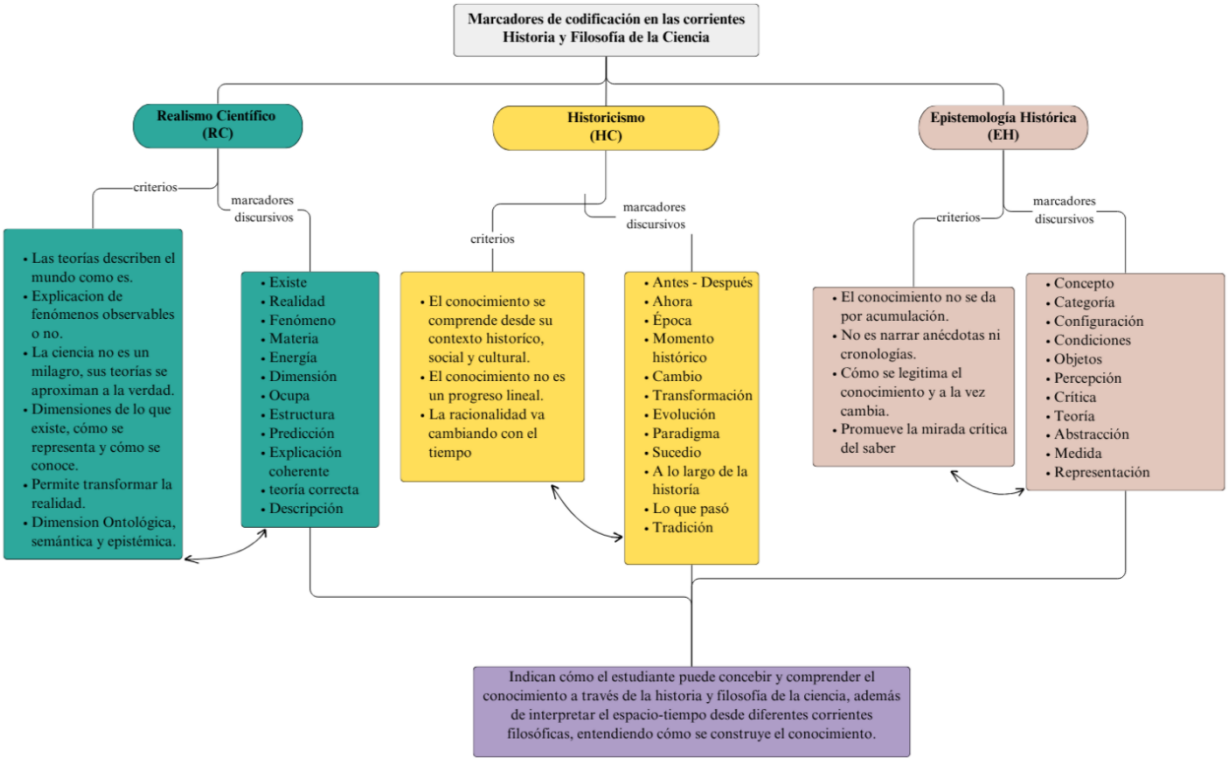
Figura 18. Criterios de codificación Tipos de razonamiento.



Nota. Elaboración propia

Desde esta perspectiva, también se pueden identificar marcadores discursivos que dan cuenta de las corrientes de la Historia y Filosofía de la Ciencia implícitas en las respuestas textuales de los estudiantes, evidenciando así cómo van construyendo su interpretación del espacio-tiempo mediante los aportes de la HFC que se introducen a lo largo de la secuencia de razonamiento aplicada. Por lo tanto, en la figura 19 se muestra esta categorización en la codificación del Realismo Científico, el Historicismo y la Epistemología Histórica.

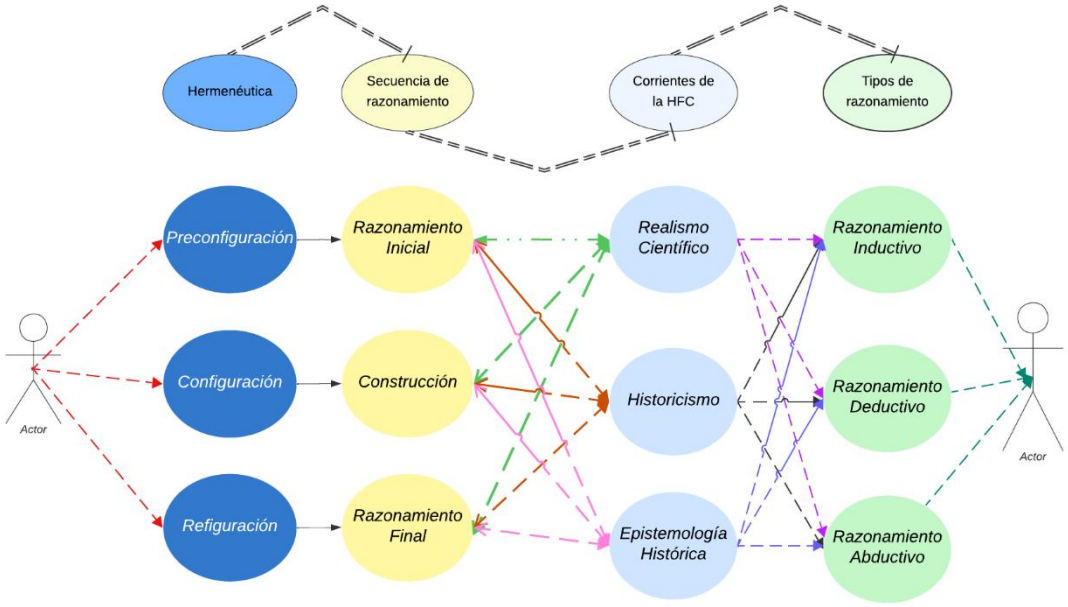
Figura 19. Criterios de codificación Corrientes de la HFC



Nota. Elaboración propia

Finalmente, la figura 20 representa el esquema que integra el círculo hermenéutico con la secuencia de razonamiento aplicada en el aula, para identificar tanto las corrientes históricas y filosóficas abordadas como los tipos de razonamiento que los estudiantes tienen y pueden alcanzar, mostrando así cómo progresivamente van identificando e interpretando el espacio-tiempo. Las flechas de conexión evidencian cómo las diversas corrientes planteadas pueden coexistir para dar sentido a la construcción del conocimiento en los estudiantes y relacionar la dinámica de su discurso, contribuyendo así al desarrollo del Pensamiento Crítico.

Figura 20. Articulación hermenéutica entre la HFC y tipos de razonamiento.

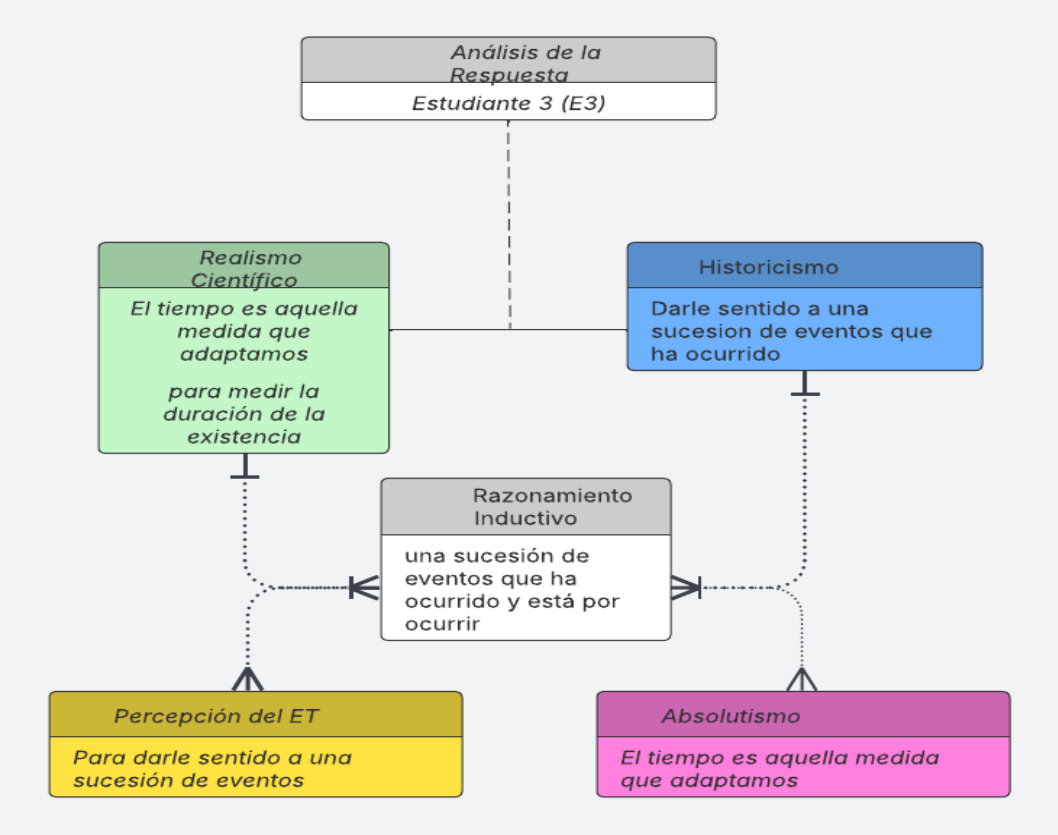


Nota. Elaboración propia

Una vez planteados los diferentes criterios de codificación, se procedió a ingresar los códigos de análisis en el software *Atlas.ti*, aplicados a las respuestas de los estudiantes, con el fin de observar y analizar cómo iban desarrollando sus razonamientos a partir de los aportes dados durante la aplicación de la secuencia de razonamiento en el aula. La figura 21 muestra un ejemplo de cómo, en una respuesta, se pueden interpretar las categorías anteriormente mencionadas.

> E3: El tiempo es aquella medida que adaptamos para medir la duración de la existencia y lo que existe en ellas para darle sentido a una sucesión de eventos que ha ocurrido y está por ocurrir es lo que usamos para saber la duración de algo.

Figura 21. Análisis respuesta del estudiante E3



Nota. Elaboración propia

En la tabla 7 se identifican los criterios seleccionados de acuerdo con las categorías de análisis y los marcadores discursivos, así como su fundamentación para dar cuenta del tipo de razonamiento que el estudiante 3 asumía en el razonamiento inicial de la secuencia aplicada en el aula. Esta corresponde a la preconfiguración del círculo hermenéutico.

Tabla 7. Fundamentación análisis respuesta estudiante 3

Categoría de análisis	Subcategoría	Frase o marcador discursivo	Análisis
Tipo de razonamiento	Inductivo	"Una sucesión de eventos que ha ocurrido y está por ocurrir".	El estudiante marca observaciones temporales que se encuentran en el pasado y, a su vez, pretende anticipar el futuro, por lo que infiere, desde su experiencia, una secuencia del tiempo. Se basa en una observación empírica y, en consecuencia, generaliza sin llegar a una conclusión (Sanz & Sanz, 2006) (Peirce, 1878).

Corriente de HFC	Realismo Científico	"El tiempo es Aquella medida que adaptamos". "Para medir la duración de la existencia".	Presupone una estructura objetiva en el concepto del tiempo al inferir una medida, así como la existencia de medidas no observables pero reales. Por lo tanto, desde el realismo científico se asume la existencia de entidades postuladas por las teorías, lo que proporciona conocimiento y permite medir algo que se cree que existe (Hacking, 1996; Putnam, 1975; Psillos, 1999; Sankey, 2003; Chakravartty & van Fraassen, 2018).
	Historicismo	"Sucesión de eventos". "Ha ocurrido". "Está por ocurrir".	El estudiante plantea, desde su experiencia y observación, que el tiempo es una serie de eventos o hechos, de los cuales se puede inferir que el conocimiento proviene de procesos y cambios históricos (Fleck, 1929) (Meinecke, 1943).
Espacio-tiempo	Percepción del ET	"Darle sentido a una sucesión de eventos".	El estudiante presupone, subjetivamente, que el tiempo es un ordenamiento para comprender el acontecimiento de los hechos, marcando así una percepción propia del mismo.
	Absolutismo	"El tiempo es aquella medida que adaptamos".	Muestra que el tiempo es una medida igual, estable y absoluta para todos, la cual puede aplicarse universalmente.

Nota. Elaboración propia

Ahora bien, existen frases y marcadores discursivos que pueden pertenecer a múltiples categorías de análisis en la codificación; esto permite evidenciar la profundidad del razonamiento que los estudiantes tienen, lo que conlleva a generar habilidades de Pensamiento Crítico frente a las situaciones planteadas. Luego de este análisis de los criterios de codificación, se procedió a realizar el análisis masivo en *Atlas.ti*, con el fin de dar una mirada detallada sobre qué tipos de razonamiento prevalecían en los estudiantes y cómo los aportes de la HFC iban modificándolos a medida que se presentaban las diversas situaciones históricas.

Resultados y Análisis

Etapa I: Razonamiento Inicial (Preconfiguración)

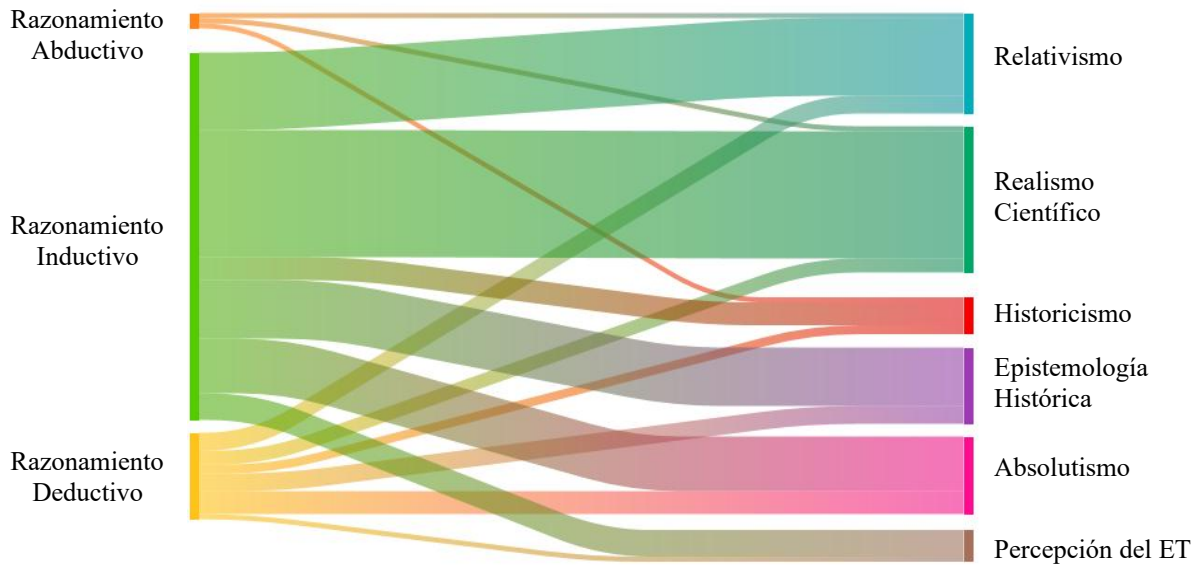
La presente sección inicia con los resultados y el análisis de la Etapa I de la secuencia de razonamiento, denominada *Razonamiento Inicial* (anexo 2), la cual corresponde a la *preconfiguración* o *mímesis I* del círculo hermenéutico de Ricoeur; esta fase permite examinar las estructuras y los discursos de los estudiantes frente a la interpretación del espacio-tiempo. El diseño de la encuesta inicial, desde la perspectiva del círculo hermenéutico, tuvo como propósito reconocer los fundamentos conceptuales y experienciales que los estudiantes poseían acerca de

estas entidades antes de introducirlos en los contextos históricos y filosóficos, así como observar cómo organizaban sus ideas previas de razonamiento. Desde esta metodología, el hecho de que los estudiantes tengan preconcepciones sobre lo que se va a interpretar conduce a la conformación de lo que se desea constituir en la interpretación (Kublikowski, 2023).

En este contexto, no se busca una precisión argumentativa; las producciones textuales realizadas por los estudiantes, desde la postura de Ricoeur, se consideran *obras* que pueden ser interpretadas y reconocidas; estas obras conllevan en su interior un mundo que ha de ser explorado, el cual no se limita únicamente al momento en que fueron plasmadas (Ricoeur, 2001). Por lo tanto, cada respuesta de los estudiantes constituye un modo de ver y configurar su experiencia para ofrecer sus interpretaciones acerca del espacio-tiempo desde sus planteamientos cognitivos y filosóficos, siendo la hermenéutica el campo interpretativo que permite analizar dichos razonamientos.

El razonamiento tiene una historia en su trasfondo que permite aprender a descubrir y a averiguar (Hacking, 2009); desde la preconfiguración se asume que, mediante sus respuestas, los estudiantes atraviesan estilos de pensamiento que les posibilitan expresarse y dar forma a sus ideas en la comprensión y explicación del espacio-tiempo. La encuesta inicial se basó en preguntas como: ¿qué es el espacio?, ¿qué es el tiempo?, además de otras que les permitieran representar, de manera objetiva o subjetiva, las condiciones que determinan la velocidad o el reposo, así como identificar contextos científicos y astronómicos —por ejemplo, la edad del universo o los agujeros negros— y asociar aplicaciones del espacio y del tiempo como el uso de zonas horarias o escalas geológicas. De ahí la importancia de los marcadores discursivos que los estudiantes pueden llegar a utilizar de manera implícita; a continuación, en la figura 22 se muestran los tipos de razonamiento frente a las corrientes de Historia y Filosofía de la Ciencia planteadas anteriormente, realizando un análisis interpretativo en torno al espacio-tiempo.

Figura 22. Tipos de razonamiento frente a las categorías de análisis



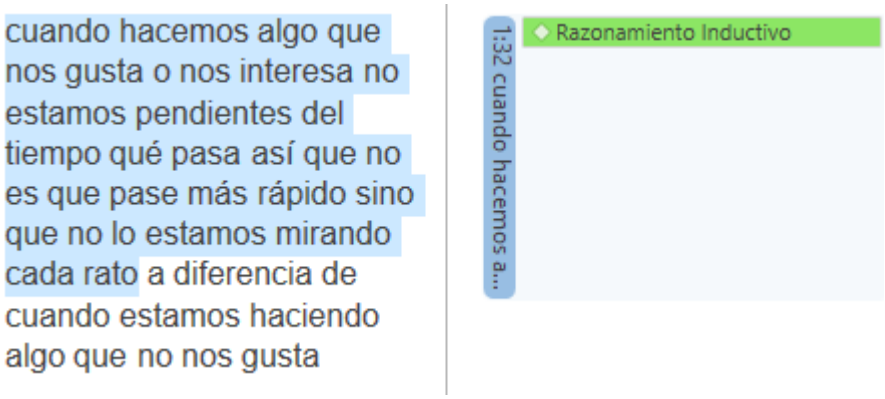
Nota. Elaboración propia

En la figura 22 se observa cómo los tipos de razonamiento pueden articularse con las subcategorías de la Historia y Filosofía de la Ciencia y del espacio-tiempo, teniendo en cuenta los marcadores discursivos que dan cuenta de esta interpretación. Por consiguiente, esta etapa del razonamiento inicial se enmarca en la estructura de preconfiguración o *mímesis I* del círculo hermenéutico, en cuanto a los tipos de razonamiento que los estudiantes construyeron frente a la interpretación del espacio-tiempo, y de cómo sus respuestas, de manera indirecta, muestran indicios de las corrientes descritas anteriormente. Desde esta perspectiva, los tipos de razonamiento deductivo, inductivo y abductivo representan la forma en que los estudiantes, a partir de sus conocimientos previos, abordan la interpretación del espacio-tiempo en las diferentes situaciones planteadas.

De esta manera, se evidencia que, antes de ser abordados por contextos históricos y filosóficos, en los estudiantes prevalece un razonamiento inductivo, el cual puede considerarse como un punto de partida basado en sus observaciones cotidianas del mundo físico, sin contrarrestarlas con estructuras conceptuales amplias que sustenten sus explicaciones y conclusiones. No obstante, poseen la capacidad de relacionar fenómenos y generar hipótesis —verdaderas o no— que los conducen hacia otros tipos de razonamiento.

Entonces, en la Etapa I, el razonamiento inductivo se vincula con las demás categorías, teniendo en cuenta los marcadores discursivos expuestos en las figuras 18 y 19. *e.g.*, el estudiante E1 respondió a la tercera pregunta[52] de la siguiente manera (figura 23).

Figura 23. Respuesta Estudiante E1



Nota. Elaboración propia

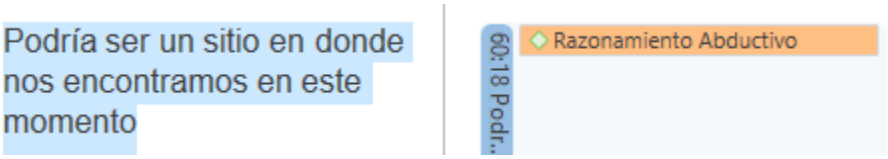
En esta respuesta se evidencia que el estudiante parte de inferencias subjetivas, basadas en sus observaciones y en la generalización de una percepción del tiempo. Desde la perspectiva de Peirce (1878), "la inducción es la inferencia de la regla a partir del caso y el resultado"[53] (p. 471). Aunque el estudiante intenta plantear una explicación cuando menciona *"no es que pase más rápido, sino que no lo estamos mirando"*, está proponiendo una causa que le da sentido a su observación. Sin embargo, al interpretar esta respuesta con mayor complejidad, se observa que el estudiante tiene una percepción del tiempo asociada a un estado *anímico*, en donde lo interpreta desde la experiencia vivida. En palabras de Ricoeur (2001), "la vida es vivida, la historia relatada" (p. 18), lo que permite entender que el tiempo surge de la experiencia y no únicamente del orden cronológico de los hechos. Por lo tanto, esta respuesta se asocia al razonamiento inductivo y a la subcategoría de la percepción del ET.

Continuando con el análisis de las respuestas de los estudiantes, en la figura 22 también se evidencia, aunque en menor medida, el razonamiento abductivo, el cual se basa en generar hipótesis

[52] A veces se percibe que el tiempo transcurre más rápido o más lento. Por ejemplo, cuando haces una fila en un banco o esperas para ingresar a algún lugar, suele parecer que el tiempo no avanza; en cambio, cuando realizas una actividad que disfrutas, el tiempo pasa muy rápido. ¿Por qué crees que sucede esto? ¿De qué manera puedes percibir el tiempo?
[53] "So that induction is the inference of the rule from the case and result".

para elaborar explicaciones. Este tipo de razonamiento se apoya en bases interpretativas más abstractas que se relacionan con modelos explicativos adquiridos a lo largo de la vida académica, social y cultural de los estudiantes. La respuesta del estudiante E60 a la primera pregunta[54] (figura 24) muestra una interpretación respecto a la naturaleza del espacio, partiendo de una hipótesis generada desde su intuición o mediante una suposición. En ella, el estudiante no se limita a describir una experiencia ni pretende deducir una conclusión simplista. Al analizarse desde la perspectiva de Peirce (1878), quien establece que la hipótesis parte de una argumentación débil dado que se apoya en el modelo que se aplique, llevándola a una conclusión que puede ser verdadera o no, se evidencia que el estudiante plantea un supuesto sobre la naturaleza del espacio, concibiéndolo como "un lugar" que posibilita la existencia del ser humano, condicionando el espacio como una entidad.

Figura 24. Respuesta Estudiante 60



Nota. Elaboración propia

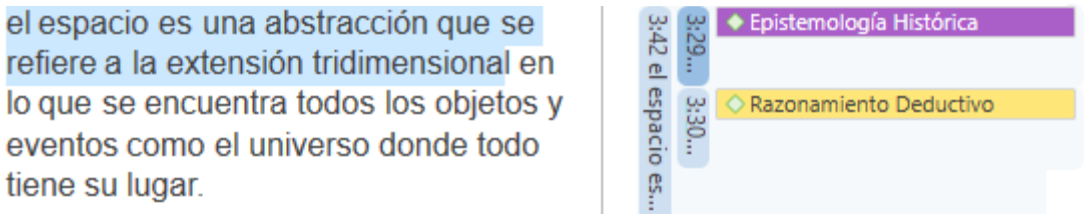
Así pues, la proposición que el estudiante plantea para dar cuenta de la interpretación del espacio fundamenta un pensamiento que recae en la primera fase del círculo hermenéutico, la preconfiguración, dado que muestra un esquema de razonamiento que proviene de una reconstrucción de sus ideas al pretender dar una explicación probable. De allí que esta respuesta se enmarque en el razonamiento abductivo, dado que el estudiante busca generar una hipótesis, lo cual constituye un camino válido en el desarrollo del Pensamiento Crítico orientado a la búsqueda interpretativa del espacio.

La figura 25 muestra la respuesta del estudiante E3, la cual resulta especialmente significativa para interpretar la asociación de las categorías y la preconfiguración hermenéutica, dado que se articula con el razonamiento deductivo y la epistemología histórica, demostrando la complejidad que puede encontrarse en los discursos textuales de los estudiantes. La coexistencia

[54] La interpretación del espacio puede abordarse desde distintos puntos de vista: el espacio exterior donde se encuentran los cuerpos celestes; un lugar en el que es posible ubicar un objeto; o la posición que ocupa un país en un mapamundi, entre otros. Sin embargo, ¿cómo podrías tú explicar o definir qué es el espacio?

de estas categorías en sus respuestas surge del análisis de los marcadores discursivos y de los conceptos teóricos clave, que permiten identificar este tipo de razonamiento y evidencian cómo se fortalece el desarrollo de un Pensamiento Crítico por parte de los estudiantes.

Figura 25. Respuesta estudiante E3



Nota. Elaboración propia

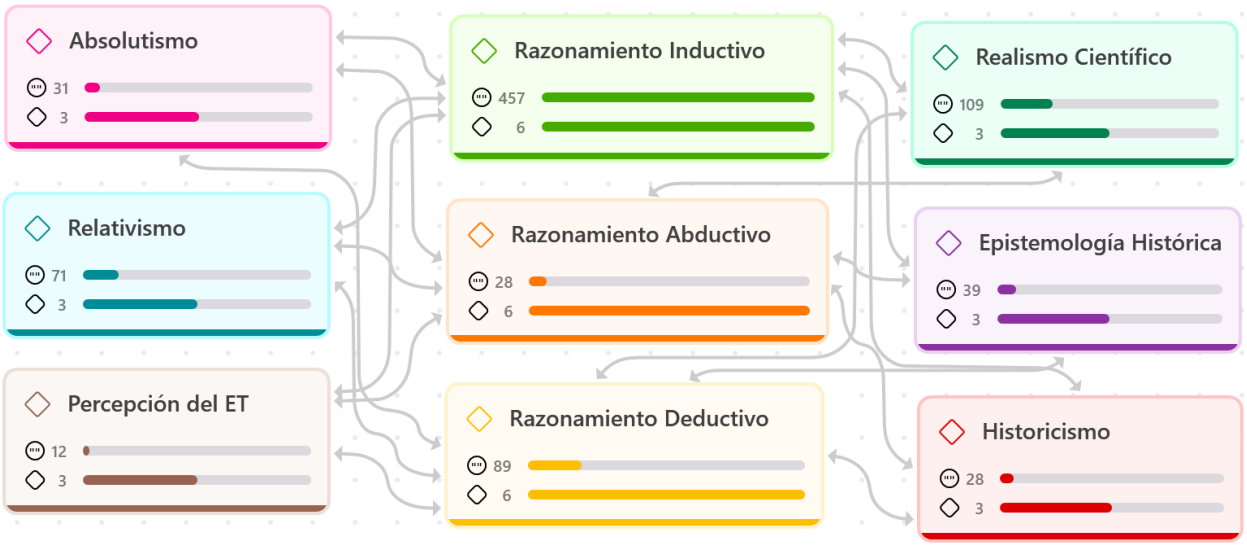
La afirmación del estudiante al considerar que *"el espacio es una abstracción que se refiere a la extensión tridimensional"* revela un marcador discursivo puntual: *abstracción*, el cual muestra que el espacio es concebido como un concepto, es decir, como una construcción conceptual que puede provenir de una elaboración cultural, científica e histórica. Esto se articula con los principios de la epistemología histórica, dado que los conceptos se van configurando a través de rupturas que se consolidan en un enfoque histórico (Bachelard, 1991). Por consiguiente, al pretender definir qué es el espacio, el estudiante lo vincula con una estructura "abstracta" para intentar comprenderlo, y lo hace subjetivamente desde una construcción histórica que se encuentra mediada por su propio recorrido académico.

Cuando el estudiante describe "extensión tridimensional", evidencia que posee un acervo conceptual construido a lo largo del tiempo y organizado históricamente, lo cual le permite inferir que existe una estructuración de sus conocimientos para establecer una definición y, tal vez, reconocer que el conocimiento científico evoluciona a través de la historia. Finalmente, al expresar el espacio como "todos los objetos y eventos (…) donde todo tiene su lugar", el estudiante muestra que trabaja bajo una regla general que aplica a casos particulares. De este modo, se manifiesta un razonamiento deductivo, dado que parte de reglas generales para llegar a lo particular.

Continuando con la fase de preconfiguración del círculo hermenéutico de Ricoeur, la figura 26 muestra un diagrama de red que representa las relaciones entre los tipos de razonamiento y las categorías de la Historia y Filosofía de la Ciencia y del espacio-tiempo. En esta figura se puede

determinar la fundamentación en citas según las respuestas de los estudiantes. Así, a partir de sus ideas previas y de sus experiencias personales, predomina un razonamiento inductivo, el cual se articula con las demás categorías. De este modo, los estudiantes consideran e infieren sobre la existencia objetiva del espacio-tiempo, ubicándose desde la postura de un realismo científico; al mismo tiempo, desde su experiencia, reconocen que el espacio-tiempo puede variar según el punto de vista, adoptando una posición relativista, aunque sin apartarse del absolutismo.

Figura 26. Red de concurrencias Preconfiguración



Nota. Elaboración propia

El razonamiento deductivo y el abductivo también se encuentran presentes, en relación con las demás categorías, ajustando sus deducciones e hipótesis a estructuras de pensamiento que parten de los cambios históricos y culturales que han transformado el conocimiento en pro de una explicación coherente de las entidades del espacio-tiempo; esto conlleva a un desarrollo más formal del Pensamiento Crítico.

Esta fase inicial del círculo hermenéutico, la preconfiguración o *mímesis I* de Ricoeur, permitió identificar las estructuras conceptuales previas que enmarcan a los estudiantes en la configuración del espacio-tiempo. El análisis de sus respuestas evidencia la presencia de distintos tipos de razonamiento y de concepciones filosóficas implícitas en sus argumentos, las cuales

favorecen que logren pensar críticamente al enfrentarse a las situaciones planteadas en el razonamiento inicial.

Ricoeur (1995) señala que "la composición de la trama se enraíza en la pre-comprensión del mundo de la acción: de sus estructuras inteligibles, de sus recursos simbólicos y de su carácter temporal" (p. 116). Esto permite entender que los estudiantes, frente a una comprensión *heredada* culturalmente y mediada por su experiencia y su corta trayectoria académica, adoptan un lenguaje para interpretar el espacio-tiempo; de este modo, esa *pre-comprensión* la articulan desde sus presaberes, buscando un razonamiento adecuado que evidencie su comprensión respecto a estas entidades. No obstante, estas ideas previas constituyen la base para alcanzar una interpretación posterior.

La prevalencia del razonamiento inductivo en esta fase hermenéutica manifiesta claramente que las explicaciones de los estudiantes provienen de su experiencia empírica y de lo observable cotidianamente. Asimismo, se evidenció que, de manera implícita, sus expresiones textuales contienen corrientes filosóficas que les permiten articular la comprensión del espacio-tiempo, construyendo así estilos de razonamiento (Hacking, 2009) que les posibilitan argumentar (Porras et al., 2020), independientemente de que sus explicaciones resulten válidas o no.

En consecuencia, la preconfiguración permitió comprender cuáles eran las interpretaciones de los estudiantes frente al espacio-tiempo y cómo estas se encontraban permeadas por sus preconcepciones, lo cual resulta fundamental para avanzar hacia las siguientes fases del círculo hermenéutico. En la fase de configuración se analizarán las respuestas de cuatro actividades realizadas en el aula, las cuales aportan al desarrollo del Pensamiento Crítico, complementando los tipos de razonamiento y permitiendo la organización de sus discursos, así como una comprensión más amplia de las entidades del espacio-tiempo.

Etapa II: Construcción (Configuración)

En esta sección se presentará el análisis correspondiente a la Etapa II de la secuencia de razonamiento, la cual hace parte de la fase de configuración o *mímesis II* del círculo hermenéutico. En esta etapa, los estudiantes realizaron cuatro actividades, expuestas en la tabla 2, que fueron

estructuradas a partir de contextos históricos y filosóficos en torno al espacio-tiempo, la actividad uno correspondió al contexto histórico aristotélico; la actividad dos, al experimento mental de Galileo; la actividad tres, a la definición del espacio y el tiempo en Newton; y, finalmente, la actividad cuatro, a la propuesta de Einstein.

Cada una de las actividades propuestas, contenían una introducción histórica y filosófica de la época respecto al espacio-tiempo, posteriormente una serie de preguntas abiertas, las cuales fueron respondidas por los estudiantes en donde exponían textualmente la comprensión de estas entidades respecto a quien las planteaba, evidenciando los diferentes tipos de razonamiento, así como la articulación con las corrientes históricas y filosóficas y la interpretación del espacio y del tiempo.

Actividad 1: Contexto histórico Aristotélico

Esta primera actividad (anexo 3), correspondiente a la fase de configuración hermenéutica, se propuso para situar a los estudiantes en el contexto histórico aristotélico y dar a conocer su concepción acerca del espacio-tiempo. Es importante resaltar que esta actividad no se asume como un dato histórico en sí mismo, sino como un modelo explicativo que se distinguió y prevaleció durante varios siglos. En este sentido, las preguntas planteadas permiten observar cómo los estudiantes razonan desde el conocimiento histórico e inician la construcción de una estructura cognitiva orientada al desarrollo del Pensamiento Crítico y a la elaboración de una concepción del espacio y del tiempo. En sus respuestas, los estudiantes exponen sus ideas sobre la naturaleza del tiempo y la importancia del movimiento, tal como lo planteaba Aristóteles; además, vinculan estas ideas con fenómenos observables y continúan con la interpretación de los usos horarios, elaborando breves definiciones sobre lo relativo y lo absoluto. Desde la interpretación hermenéutica, esta actividad marca el inicio del marco conceptual que se articula con lo científico y permite al estudiante comenzar un proceso de reconfiguración, considerando tanto el análisis histórico como su propia experiencia, lo que da lugar a una narrativa textual más crítica y reflexiva.

En este sentido, en la actividad inicial de configuración hermenéutica los estudiantes articularon sus razonamientos con las interpretaciones de Aristóteles, abordando la importancia del movimiento para comprender el espacio y el tiempo y confrontando sus saberes con los

planteamientos históricos y filosóficos. Esto les permitió potenciar el desarrollo del Pensamiento Crítico y avanzar en la construcción de una concepción del espacio y del tiempo. En consecuencia, la figura 27 muestra los tipos de razonamiento presentes en la actividad uno y su asociación con las categorías de análisis.

Figura 27. Tipos de razonamiento Actividad 1. Contexto aristotélico

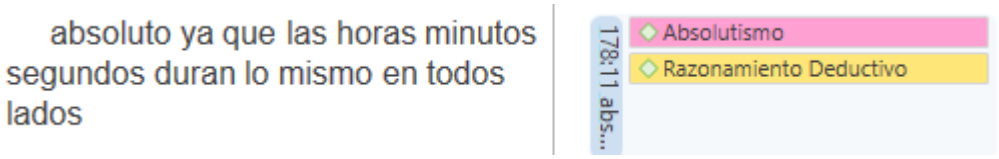
Nota. Elaboración propia

Al introducir los códigos en el software *Atlas.ti* y teniendo en cuenta los marcadores discursivos, la figura 27 evidencia que el razonamiento inductivo continúa siendo el de mayor tendencia. No obstante, también comienzan a manifestarse el razonamiento deductivo y el abductivo en las respuestas, lo que indica que, al considerar los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia, los estudiantes inician la generación de hipótesis y la aplicación de principios generales a casos específicos, constituyendo así los otros dos tipos de razonamiento.

Considerando los tipos de razonamiento, en la figura 28 se observa la respuesta del estudiante E178 ante la pregunta sobre si el tiempo es absoluto o relativo. Esta se enmarca en dos categorías: razonamiento deductivo y absolutismo. El estudiante concluye, a partir de la medición del tiempo que cotidianamente nos rodea, que este es igual para todos, pues sería la misma cantidad

registrada por un reloj en cualquier lugar. Desde lo teórico, parte de una premisa general para convertirla en un caso particular, y de este modo se enmarca en un absolutismo, dado que no tiene en cuenta un marco de referencia ni el movimiento que pueda intervenir, asumiendo que el tiempo es igual en todo lugar

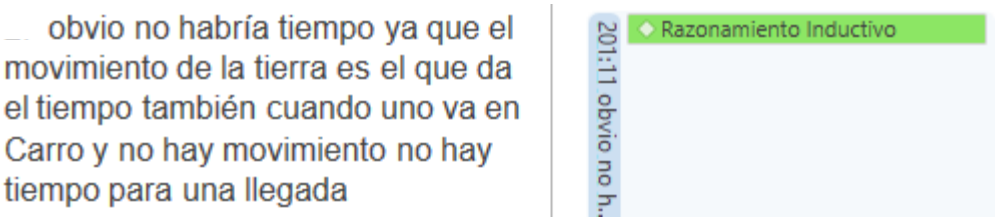
Figura 28. Respuesta estudiante 178.



Nota. Elaboración propia

Ahora, desde el contexto histórico de Aristóteles, en el que no es posible percibir el tiempo sin la existencia del movimiento, algunos estudiantes infieren que esta afirmación es correcta, como se evidencia en la respuesta presentada en la figura 29.

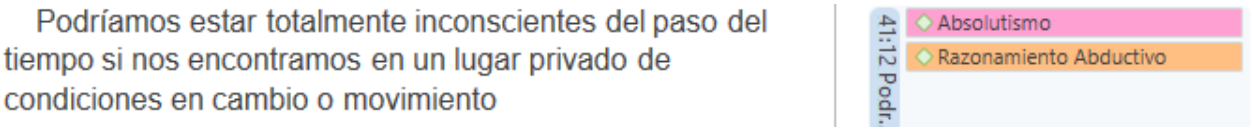
Figura 29. Respuesta estudiante 201, Actividad 1



Nota. Elaboración propia

Esta respuesta muestra que el estudiante, al utilizar el marcador discursivo *"ya que"*, parte de sus observaciones empíricas sobre el movimiento de la Tierra y el desplazamiento de un carro, intentando generalizar la idea "obvia" de que el movimiento es necesario e indispensable para dar cuenta del tiempo, siguiendo así la línea aristotélica. El estudiante E41, en la figura 30, evidencia un razonamiento abductivo, dado que formula una hipótesis en un intento de explicación, la cual lo lleva a sostener que el tiempo es absoluto y depende del movimiento.

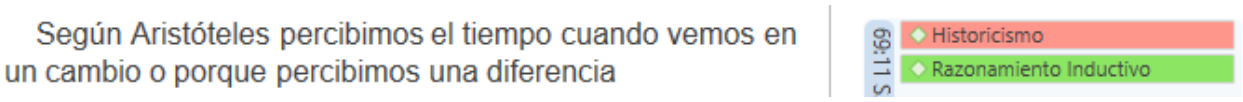
Figura 30. Respuesta estudiante E41, Actividad 1



Nota. Elaboración propia

Como se describió anteriormente, una categoría de análisis puede coexistir con otra según su interpretación. Al plantear el contexto histórico y el análisis de Aristóteles, los estudiantes comienzan reconociendo la importancia de conocer y asimilar la historia para explicar los fenómenos, en este caso el espacio y el tiempo. En la figura 31, el estudiante muestra un razonamiento inductivo al pretender dar una explicación general a la percepción del tiempo; además, al citar a Aristóteles, reconoce que el conocimiento ha estado presente a lo largo de la historia, aunque puede modificarse, partiendo de la idea de que el saber no es lineal y varía de acuerdo con el contexto histórico de cada época.

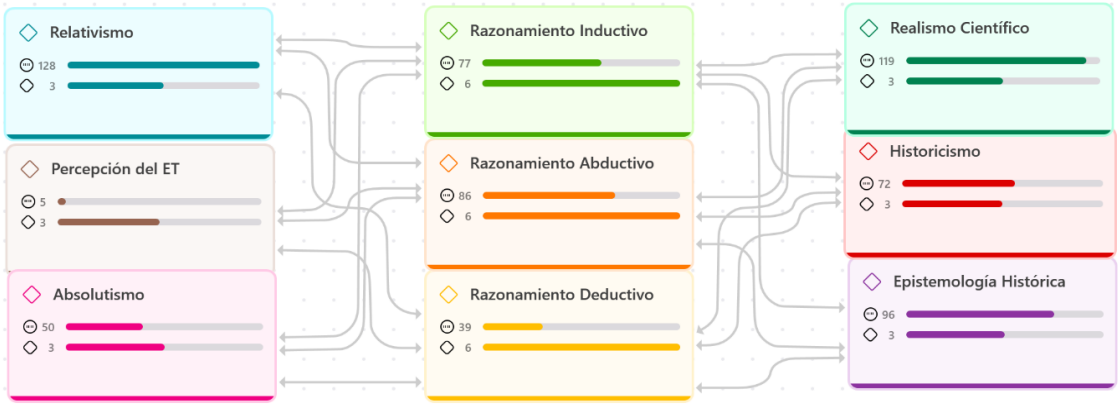
Figura 31. Respuesta estudiante E69, Actividad 1



Nota. Elaboración propia

La figura 32 muestra cómo se conectan las categorías de la Historia y Filosofía de la Ciencia y del espacio-tiempo con los tipos de razonamiento, determinando la fundamentación a partir de las respuestas de los estudiantes. En esta red se observa la variabilidad de los razonamientos en relación con las demás categorías. Se evidencia que, al enfrentarse a los planteamientos aristotélicos sobre el espacio y el tiempo, el estudiante construye un razonamiento inductivo que asocia principalmente al relativismo. Esto implica que pretende elaborar una explicación coherente y general sobre la importancia del movimiento en la percepción espaciotemporal, sin dejar de lado que la epistemología histórica, el historicismo y el realismo científico influyen en la manera como se razona y se argumenta en la comprensión de los fenómenos.

Figura 32. Red de concurrencias Configuración, Actividad 1



Nota. Elaboración propia

El contexto histórico aristotélico permite que los estudiantes articulen su narrativa organizando las ideas previamente establecidas en la etapa de la preconfiguración. Al iniciar con este referente histórico, se produce un choque conceptual que ha permeado su trayectoria académica, pues emprenden un camino de análisis y razonamiento en el intento de explicar lo absoluto, lo relativo y de qué dependen estas concepciones. En concordancia con esta actividad, se procede a la actividad dos, denominada *Experimento mental de Galileo*, la cual introduce un cambio que muestra la ruptura epistemológica en la transición del pensamiento aristotélico al galileano. De este modo, se continúa con el desarrollo de la fase de configuración del círculo hermenéutico, que les permitió organizar sus ideas previas tanto sobre el movimiento como sobre el espacio-tiempo.

Actividad 2: Experimento *mental de Galileo Galilei*

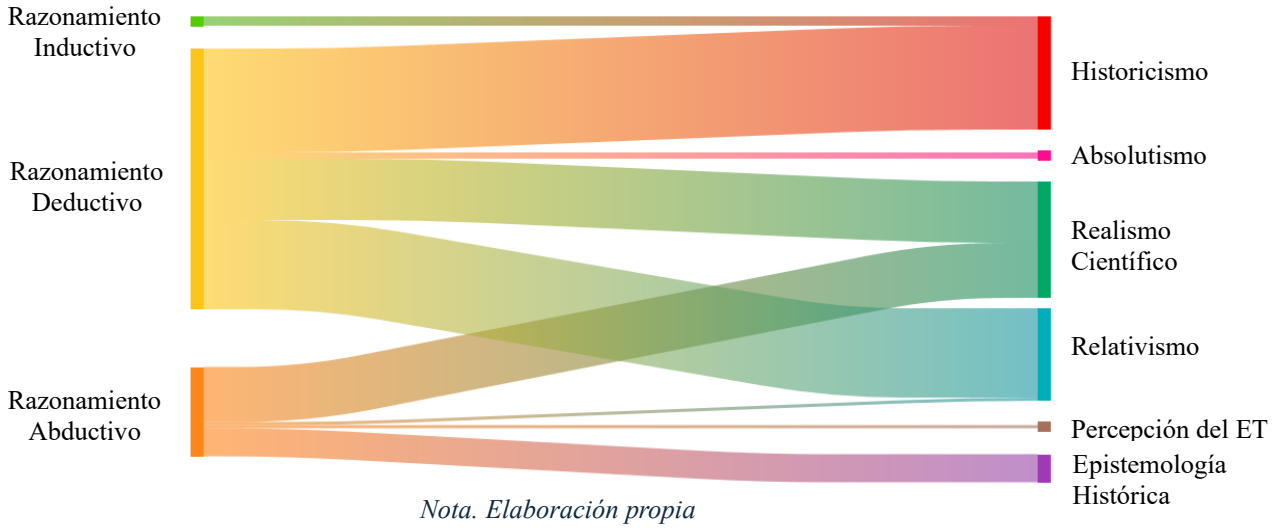
La segunda actividad (anexo 4) presenta un contexto histórico clave, el experimento mental del barco propuesto por Galileo Galilei para comprender el movimiento; este ejercicio conlleva a confrontar la física aristotélica y a analizar la forma de razonar de los estudiantes cuando se les propone este tipo de situaciones experimentales. En este momento de la secuencia de razonamiento, los estudiantes reconocen la importancia del valor histórico que representa la ciencia, dado que se rompe con el paradigma aristotélico que prevaleció durante siglos y se abre una nueva perspectiva sobre el movimiento uniforme y el sistema de referencia. De este modo, continúan en su proceso de configuración hermenéutica, expresando su razonamiento frente a la situación planteada.

Además, en esta sección de la aplicación de la secuencia de razonamiento se utilizó como apoyo audiovisual la película *Ágora* (Amenábar, 2009), en la cual Hipatia de Alejandría se encuentra en un barco en movimiento y deja caer libremente un saco de arena desde la punta alta del mástil. En un primer momento se podría suponer que el saco caería alejado de la base del mástil; sin embargo, este cae justamente al lado de dicha base, concluyéndose que se comporta como si estuviera en movimiento con el barco. Aunque no se ofrece una explicación detallada del fenómeno, se infiere que este principio podría extrapolarse al movimiento de la Tierra en torno al Sol.

Es importante tener presente que la época en la que vivió Hipatia de Alejandría fue aproximadamente entre los años 355 y 416 d. C., un período histórico caracterizado por tensiones políticas y religiosas. Alejandría se consideraba entonces una ciudad cultural del mundo antiguo, centro del saber, la filosofía, la astronomía y las matemáticas. Incorporar este contexto histórico y filosófico en la actividad dos permite mostrar a los estudiantes cómo se concibe el movimiento relativo a partir de hipótesis. Y, aunque la distancia temporal entre Hipatia y Galileo es de poco más de mil años, esto evidencia cómo ciertas ideas han prevalecido a lo largo de la historia y cómo se han transformado en la construcción del conocimiento científico, resaltando así la relevancia de la historia y la filosofía en la ciencia.

En esta actividad, antes de que los estudiantes se adentraran en el experimento de Galileo, se presentó una descripción sobre la importancia de los experimentos mentales[55]. Una vez comprendido el experimento, los estudiantes respondieron a las preguntas planteadas y, a partir de sus respuestas, se realizó la interpretación correspondiente en relación con los tipos de razonamiento y las categorías de análisis, como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Tipos de razonamiento Actividad 2. Experimento mental Galileo Galilei

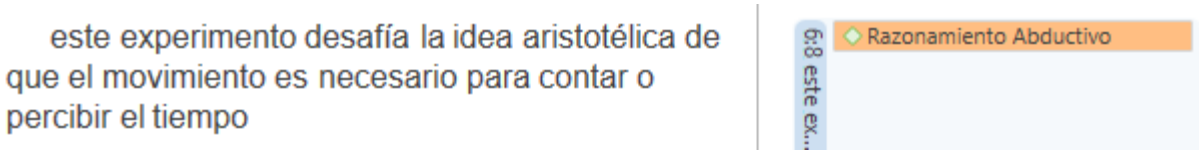


Nota. Elaboración propia

[55] Los experimentos mentales se han desarrollado a lo largo de la historia como un método de análisis en la explicación de las teorías científicas (Aguilar & Romero, 2011). Estos han permitido imaginar diversas situaciones, aunque deben estar contemplados en condiciones de verdad para favorecer la comprensión y explicación de las teorías (Kuhn, 1985). Como lo describe Mach (citado por Kienzler, 2010), son pensamientos e ideas individuales, más o menos ordenados, que preceden a los experimentos reales de la investigación científica (p. 55), puesto que las imágenes o modelos de la experimentación surgen primero en el desarrollo de las ideas: "experimentamos con el pensamiento" (Mach, 2018). Tanto así que Sorensen (1992) cataloga los experimentos mentales como una subclase de experimentos reales no ejecutados, los cuales ayudan a generar un proceso en la elaboración y perfeccionamiento de la práctica experimental (citado en Borge & Mettini, 2018, p. 344).

En el diagrama Sankey de la actividad dos se observa un cambio significativo en comparación con la figura 22 de la actividad uno; este resultado evidencia una transformación dentro de la fase de configuración hermenéutica, mostrando las interpretaciones de los estudiantes frente al planteamiento de Galileo sobre la percepción del movimiento en un barco. El experimento generó en los estudiantes, en su mayoría, un razonamiento deductivo, seguido del razonamiento abductivo, ambos articulados con las tres categorías de la Historia y Filosofía de la Ciencia propuestas.

Figura 34. Respuesta estudiante E6, actividad 2



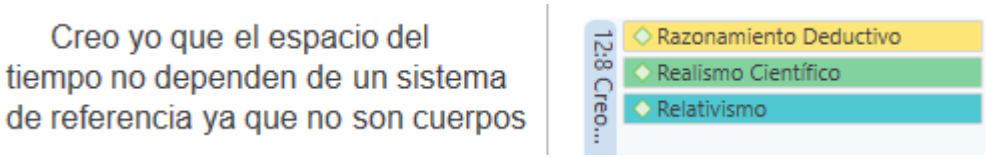
Nota. Elaboración propia

En la figura 34 se observa la respuesta del estudiante E6, a la cual se le asignó un razonamiento deductivo; aunque en su estructura no se identifique un marcador discursivo específico, el análisis que el estudiante realiza frente al experimento mental de Galileo muestra claramente que interpreta la hipótesis planteada por Aristóteles y, además, evidencia cómo el paradigma aristotélico comienza a quebrantarse. Desde la perspectiva de Peirce (2012b), quien expone que "la abducción parte de los hechos, sin que tenga al principio a la vista ninguna teoría, aunque es motivada por la sensación de que se necesita una teoría para explicar los hechos sorprendentes" (p. 162), se aprecia que el estudiante recurre al experimento mental de Galileo para ofrecer una explicación hipotética a la idea aristotélica acerca de la percepción del tiempo. Este tipo de análisis se inscribe en la fase de configuración del círculo hermenéutico, donde la narrativa del estudiante se construye a partir de estructuras conceptuales, históricas y contextuales, articulándolas con sus ideas previas.

De esta manera, el proceso de configuración implica que los contextos históricos y la interpretación del experimento mental posibilitan la construcción de razonamientos como fuentes explicativas de los fenómenos. En palabras de Ricoeur (2001), "un acontecimiento no es sólo un suceso, algo que ocurre, sino un componente narrativo" (p. 18), lo cual permite fundamentar el desarrollo del Pensamiento Crítico en los estudiantes.

Al interpretar la importancia del sistema de referencia para la percepción del espacio y del tiempo, el estudiante E12 argumenta lo siguiente:

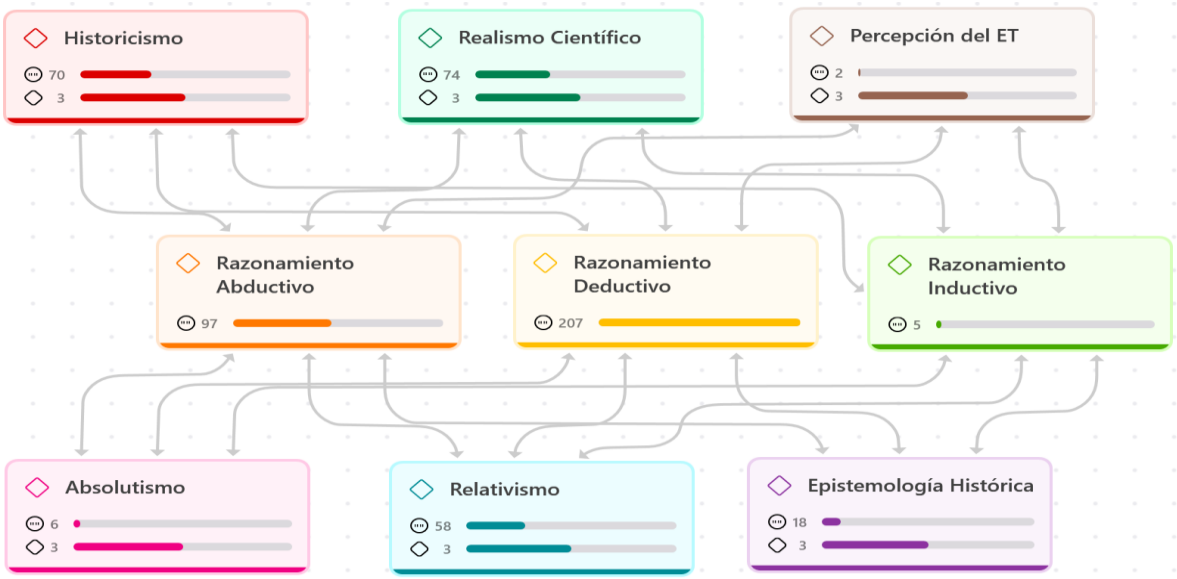
Figura 35. Respuesta estudiante E12, actividad 2



Nota. Elaboración propia

Esta respuesta, mostrada en la figura 35, se catalogó bajo tres categorías de análisis; en primer lugar, evidencia un Razonamiento Deductivo, dado que supone que tanto el espacio como el tiempo no son cuerpos físicos, construyendo su estructura racional con el marcador discursivo *"ya que"*. Esto lo lleva a deducir que no dependen de un sistema de referencia. En segundo lugar, se ubica en la categoría de Realismo Científico, puesto que interpreta que el espacio y el tiempo son entidades existentes ante la percepción. Por último, se adscribe a la categoría del Relativismo, dado que se centra en un sistema de referencia y reconoce la importancia de este para el movimiento; aunque no adopta una posición plenamente relativista, tampoco se evidencia un rechazo explícito, lo que posibilita, además, una aproximación a una interpretación absolutista del espacio y el tiempo.

Figura 36. Red de concurrencias Configuración, actividad 2



Nota. Elaboración propia

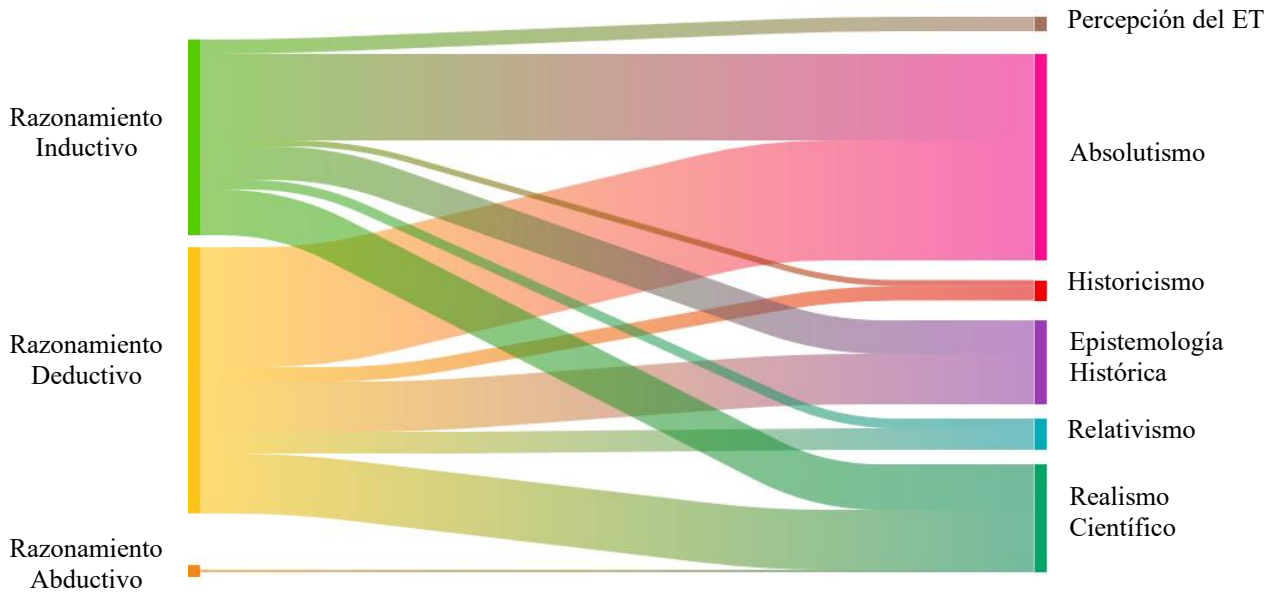
En la figura 36 se observa la red de concurrencias respecto a la actividad dos del experimento mental de Galileo; en ella se evidencia la relación entre los tipos de razonamiento y las categorías de análisis para esta etapa de la secuencia de razonamiento de la fase de configuración del círculo hermenéutico. El Razonamiento Deductivo marcó la diferencia en esta fase, debido a la interpretación y explicación del experimento mental por parte de los estudiantes. Las categorías de Historia y Filosofía de la Ciencia y del espacio-tiempo se siguen asumiendo de manera implícita; sin embargo, algunos estudiantes comienzan a considerar la historia como un eje importante para la comprensión y evolución del conocimiento científico. Asimismo, generan posturas absolutas y relativas a medida que van estudiando los contextos históricos.

La narrativa que han mostrado los estudiantes mediante sus respuestas textuales ha destacado la fase de configuración hermenéutica con los tipos de razonamiento, constituyendo marcos conceptuales y elaborando hipótesis, así como estructurando e integrando en sus enunciados el conocimiento histórico, filosófico y científico. Por ende, la actividad dos constituye un punto decisivo en la puesta en marcha del razonamiento para construir la comprensión del espacio-tiempo mediante los aportes históricos y filosóficos. Los estudiantes evidenciaron la ruptura del paradigma aristotélico, al tiempo que fortalecieron el desarrollo de su Pensamiento Crítico mediante el razonamiento. Ahora bien, en la siguiente sección se presentarán los tipos de razonamientos que los estudiantes formaron en la actividad tres, correspondiente a la definición de espacio y tiempo en Isaac Newton.

Actividad 3: Definición espacio y tiempo de Isaac Newton

En esta tercera actividad (anexo 5) de la secuencia de razonamiento, que continúa correspondiendo a la fase de configuración del círculo hermenéutico, se relaciona el contexto histórico y filosófico de Isaac Newton, donde se presenta a los estudiantes la concepción absolutista. Esta, al igual que la aristotélica, también predominó durante varios siglos en la historia del conocimiento científico. En este punto, los estudiantes interactúan con una definición más formal del espacio y del tiempo, constituyéndolos como conceptos para contrastarlos con sus experiencias previas y relacionarlos con los panoramas históricos estudiados hasta el momento.

Figura 37. Tipos de razonamiento en la actividad 3. Definición espacio y tiempo Isaac Newton

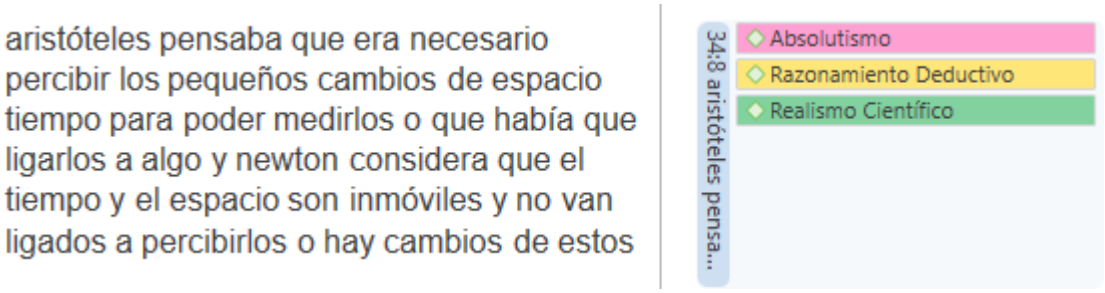


Nota. Elaboración propia

En la figura 37, que representa los tipos de razonamiento de los estudiantes y su relación con las categorías de Historia y Filosofía de la Ciencia y del espacio-tiempo en la actividad tres, se observa una variación en el razonamiento respecto a las dos actividades anteriores. Aunque el Razonamiento Deductivo sigue prevaleciendo, como en la actividad dos, en este caso el Razonamiento Inductivo vuelve a tomar un papel relevante en la estructura argumentativa de los estudiantes al elaborar su comprensión del espacio-tiempo y al relacionarse con las corrientes históricas y filosóficas.

Esta actividad, que sigue siendo parte de la configuración hermenéutica, muestra que los estudiantes han ampliado su manera de interpretar y razonar. Al no limitarse a sus ideas previas, han articulado sus aprendizajes empíricos con los marcos conceptuales, históricos y filosóficos. Esta variabilidad en los patrones de razonamiento y en las categorías de análisis evidencia que ir conformando una transición en la que ha estado el espacio-tiempo a lo largo de la historia permite desarrollar el Pensamiento Crítico en ellos, dado que han cuestionado, argumentado y expuesto sus propias conclusiones para comprender el significado de estas entidades, así como el valor del conocimiento científico para el progreso sociocultural.

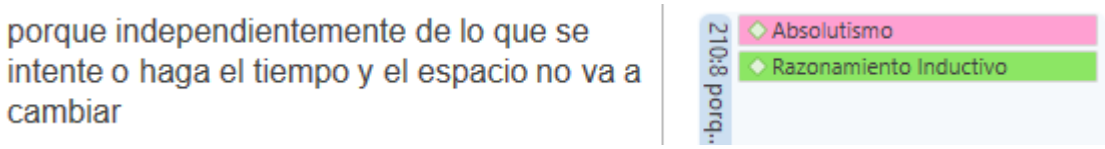
Figura 38. Respuesta estudiante E34, actividad 3



Nota. Elaboración propia

En la figura 38 se observa la respuesta del estudiante E34, a quien se le asignaron tres categorías de análisis. Esta muestra cómo hace uso de una evolución histórica desde los planteamientos aristotélicos y expone la definición de Newton sobre "el tiempo y el espacio son inmóviles" para contrastarla con la visión de Aristóteles. De este modo, parte de unos principios generales hacia algo específico, lo cual constituye el fundamento del razonamiento deductivo. Posteriormente, la respuesta se ajusta al Realismo Científico, dado que asume que el espacio y el tiempo existen y son necesarios para describir el movimiento, justificándose en su observación. Al no plantear una refutación a la idea newtoniana, se evidencia una concordancia con el absolutismo.

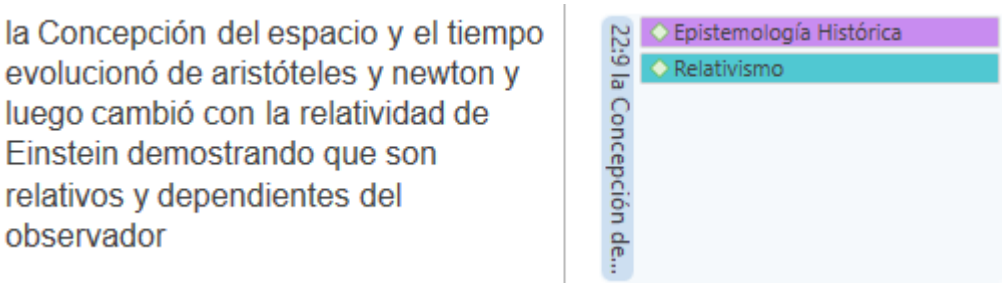
Figura 39. Respuesta estudiante E210, actividad 3



Nota. Elaboración propia

En la figura 39 se evidencia un razonamiento inductivo y la categoría absolutista; esto se debe a que el estudiante concluye que el espacio y el tiempo no van a cambiar, sin importar la actividad que se esté realizando. De este modo, se interpreta que parte de su experiencia para generalizar, y, al considerar que el espacio-tiempo no va a variar, su postura se enmarca en la percepción absolutista.

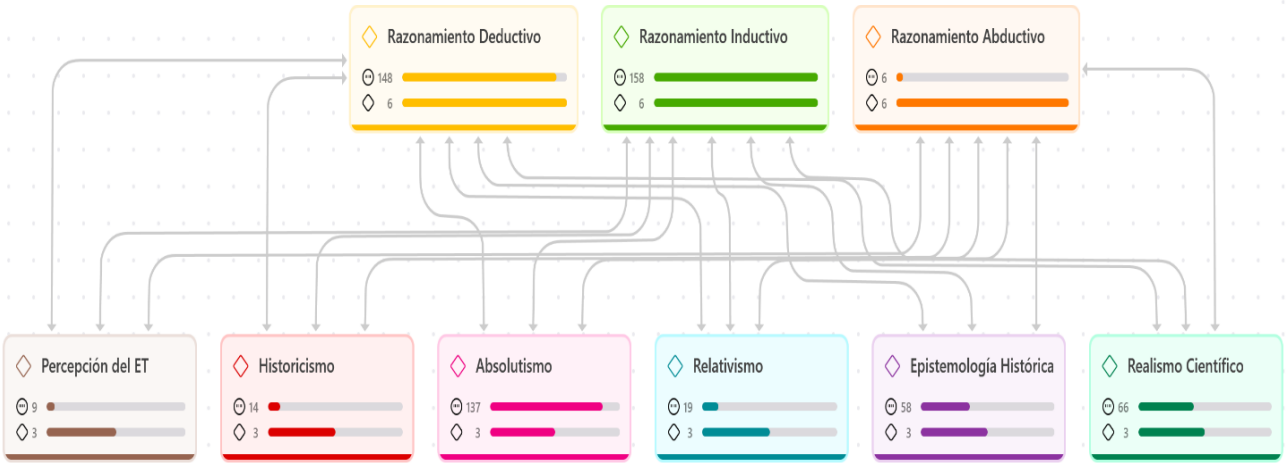
Figura 40. Respuesta estudiante E22, actividad 3



Nota. Elaboración propia

La figura 40 da cuenta de la respuesta del estudiante E22; a partir de la interpretación posible, se evidencia que el estudiante es consciente de la evolución histórica de la concepción del espacio-tiempo, que va desde Aristóteles hasta Einstein. Teniendo en cuenta tanto el marcador discursivo *"luego"* como la atención que el estudiante brinda al desarrollo histórico, la respuesta se alinea con la categoría de Epistemología Histórica, además de mostrar que el conocimiento científico ha progresado. Al mismo tiempo, se asocia con la categoría de Relativismo, en la medida en que explica que Einstein demostró "*que son relativos y dependientes del observador*", reconociendo así que el espacio-tiempo no es absoluto y evidenciando implícitamente una noción de la ruptura epistemológica que se generó respecto a dichas concepciones.

Figura 41. Red de concurrencias Configuración, actividad 3



Nota. Elaboración propia

La figura 41 da cuenta de la fundamentación y la densidad que se presentaron durante la actividad tres respecto a los tipos de razonamiento y a las categorías de análisis asociadas; esta red, al igual que el diagrama de Sankey de la actividad tres (figura 37), evidencia claramente que los estudiantes se encontraban entre un Razonamiento Inductivo y uno Deductivo, asemejándose al Realismo Científico y al Absolutismo. Este análisis interpretativo muestra que los estudiantes han venido desarrollando de manera significativa su Pensamiento Crítico, lo que les ha permitido razonar de diferentes formas para constituir sus narrativas y comprender tanto el espacio-tiempo como la importancia del conocimiento científico a lo largo de la historia.

Es por ello por lo que esta actividad tres, ubicada en la fase de configuración del círculo hermenéutico, abrió espacios para que los estudiantes consideraran las propuestas de Einstein, aun sin haberlas trabajado durante la secuencia de razonamiento en el aula. Esto muestra que conocer la historia y lograr interpretarla desde la filosofía de la ciencia brinda pautas a los estudiantes para reconocer los paradigmas y sus rupturas, las cuales se han constituido en la base del conocimiento científico actual.

Por estas razones, la interpretación de las respuestas de los estudiantes, basándose en el círculo hermenéutico, da cuenta de que el comprender tiene una relevancia significativa en el conocimiento; como señala Ricoeur (2001), “el comprender no se dirige, pues, a la captación de un hecho, sino a la aprehensión de una posibilidad de ser” (p. 86). Por lo tanto, resulta fundamental que el estudiante comprenda históricamente la evolución en la concepción del espacio-tiempo, dado que no se trata únicamente de describirla, sino de que, en él, o en ellos, se desarrollen posibilidades de interpretación que germinen en su Pensamiento Crítico.

Por último, la actividad tres, enfocada en la concepción newtoniana absolutista acerca del espacio-tiempo, también generó proyecciones hacia la articulación con la Teoría de la Relatividad de Einstein, al contrastar el conocimiento previo con el adquirido a lo largo de la secuencia de razonamiento diseñada. Por consiguiente, en la siguiente sección, la última actividad explora las concepciones relativistas del espacio-tiempo.

Actividad 4: Propuesta de Einstein

En esta cuarta y última actividad (anexo 6), que cierra la fase de configuración del círculo hermenéutico, se relaciona el contexto de Einstein, situando finalmente a los estudiantes en la unión del espacio y del tiempo como una sola entidad. En esta actividad, los estudiantes se enfrentan a imaginar o considerar un experimento mental sobre la paradoja de los gemelos, reconociendo la importancia de la velocidad de la luz y comprendiendo cómo toda la construcción histórica del espacio-tiempo resulta fundamental para interpretar una nueva teoría. Asimismo, analizan que el conocimiento no proviene de una progresión lineal, sino que surge de reflexiones y revisiones de las diferentes posturas teóricas.

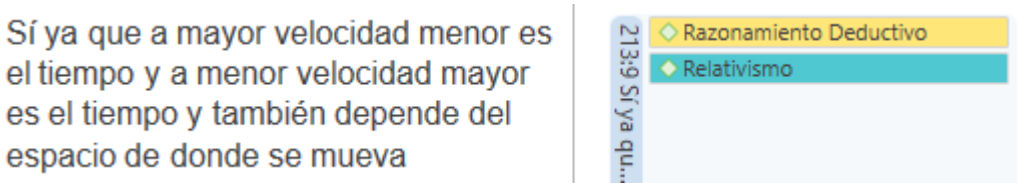
Figura 42. Tipos de razonamiento actividad 4. Propuesta de Einstein

Nota. Elaboración propia

La figura 42 muestra los tipos de razonamiento finales de la fase de configuración del círculo hermenéutico. Se observa que el Razonamiento Deductivo ha prevalecido y se asocia en mayor proporción a las categorías de Relativismo e Historicismo. En este punto, la estructura argumentativa de los estudiantes se relaciona con la velocidad de la luz y los sistemas de referencia, presentando así que el contexto einsteiniano ha marcado una importancia considerable para categorizar su valor en la nueva interpretación del espacio-tiempo como una sola entidad.

Desde la perspectiva de Peirce (2012b), "en la deducción (…) partimos de un estado hipotético de cosas que definimos en ciertos aspectos abstractos" (p. 278); de este modo, los estudiantes, al haber abordado los contextos históricos y filosóficos a través de la secuencia de razonamiento, lograron proyectar bases teóricas para articularlas en la particularidad del espacio-tiempo. Por tanto, en esta fase configurativa del círculo hermenéutico, organizaron sus modos de pensar para comprender cómo fue la evolución en la concepción del espacio-tiempo como un solo ente a partir de estos hechos históricos, lo que finalmente fortaleció su Pensamiento Crítico.

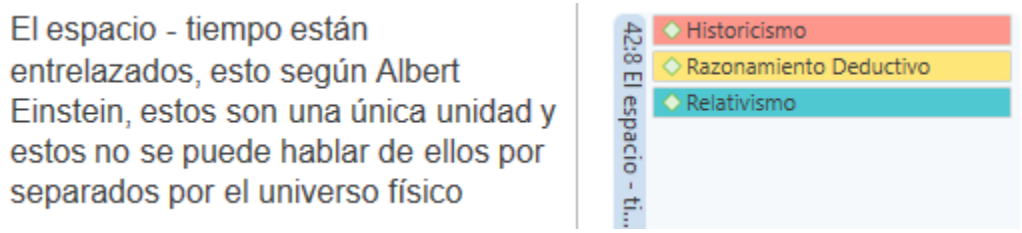
Figura 43. Respuesta estudiante E213, actividad 4



Nota. Elaboración propia

En la respuesta del estudiante E213 (figura 43), a través del marcador discursivo *"ya que"*, se interpreta que relaciona la velocidad con el tiempo, generando una estructura lógica que va de lo general a lo específico, lo que conduce a un Razonamiento Deductivo. Por otro lado, cuando expone *"también depende del espacio de donde se mueva"*, se alinea con la concepción einsteiniana, en la cual el espacio-tiempo depende del sistema de referencia; por ello se le asigna el código de análisis Relativismo.

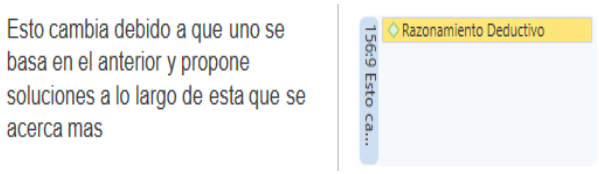
Figura 44. Respuesta estudiante E42, actividad 4



Nota. Elaboración propia

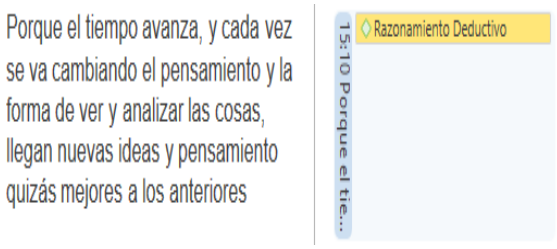
El estudiante E42 (figura 44), al citar a Einstein, refuerza su forma de razonar al establecer la existencia de una evolución histórica del pensamiento y partir de la idea de que fue necesario cambiar las posturas de Aristóteles y Newton. Esta interpretación se asocia a la corriente filosófica del Historicismo. Asimismo, cuando afirma que del espacio y el tiempo *"no se puede hablar por separado"* y que *"son una única unidad"*, muestra un Razonamiento Deductivo, dado que establece como regla general la unificación del espacio-tiempo y la particulariza en la imposibilidad de hablar de ellos por separado. Finalmente, se evidencia claramente que esta postura se asocia al Relativismo del espacio-tiempo.

Figura 46. Respuesta estudiante E156, actividad 4



Nota. Elaboración propia

Figura 45. Respuesta estudiante E15, actividad 4



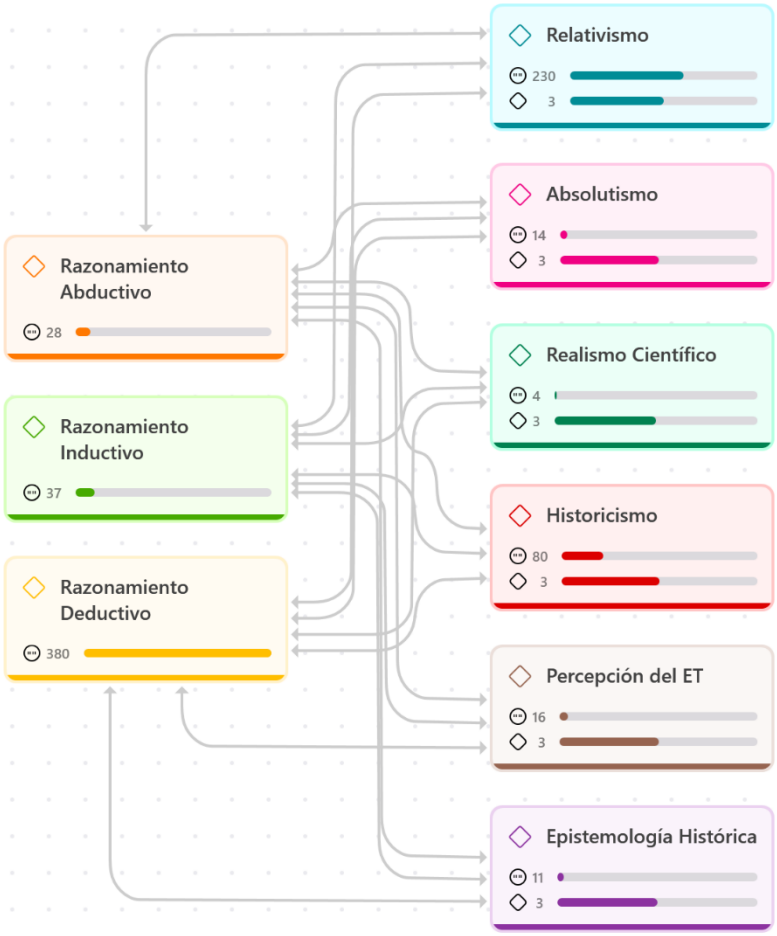
Nota. Elaboración propia

Por último, se observan las respuestas de dos estudiantes, ambos asociados al Razonamiento Deductivo. Por ejemplo, el estudiante E15 (figura 45) deduce que, al transcurrir el tiempo, las formas de pensar irán cambiando; mientras que el estudiante E156 (figura 46) argumenta que el conocimiento actual parte de reflexiones anteriores y da solución a nuevos paradigmas. Este tipo de razonamiento se articula con las propuestas de Einstein; sin embargo, no produce hipótesis ni induce una regla general. Aun así, los estudiantes aplican lo aprendido a través de la secuencia de razonamiento para comprender y explicar que el conocimiento va evolucionando a medida que transcurre la historia.

En la figura 47 se evidencia la densidad y fundamentación de los tipos de razonamiento establecidos al realizar esta actividad, con la cual culmina la fase de configuración hermenéutica. En este punto, se muestra que los estudiantes alcanzan razonamientos lógicos a partir de contextos históricos y filosóficos, lo que les permite analizar y constituir su Pensamiento Crítico. Más que describir fenómenos físicos, logran organizar sus narrativas y modos de pensar, articulándolos con

las teorías propuestas a lo largo de la historia, para comprender que el conocimiento científico no es lineal, sino que surge de factores reflexivos e históricos.

Figura 47. Red de concurrencias Configuración, actividad 4

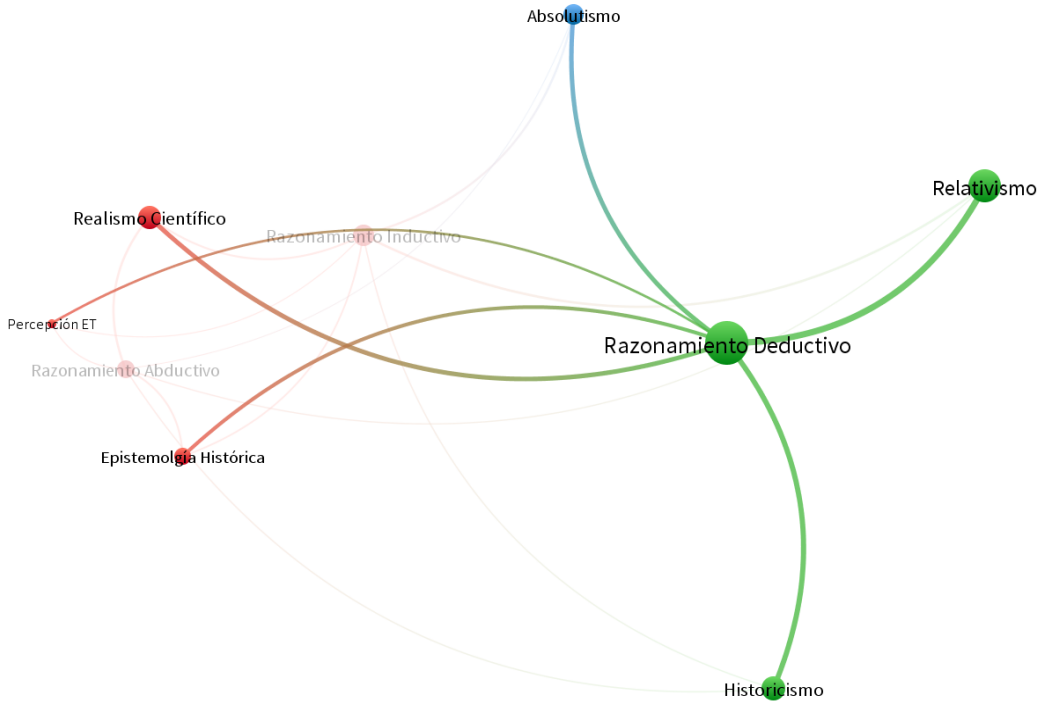


Nota. Elaboración propia

Las cuatro actividades aplicadas en el marco de la configuración del círculo hermenéutico, mediante contextos históricos y filosóficos relevantes en la constitución del espacio-tiempo como una sola entidad, dejan un trazo pedagógico y didáctico al interpretar la forma de pensar en la concepción espaciotemporal que se ha desarrollado a lo largo de siglos de historia. Además, se establecen relaciones entre las teorías y las experiencias propias de los estudiantes, lo que permite configurar un pasado y un presente.

En síntesis, el desarrollo de las actividades anteriores formó parte del constructo de la fase de configuración del círculo hermenéutico (Ricoeur, 2008); es evidente que los estudiantes se sumergieron en los contextos históricos y filosóficos propuestos para comprender el espacio-tiempo desde las perspectivas aristotélicas hasta la einsteiniana. Es importante aclarar que no se buscaba una evolución progresiva respecto a los tipos de razonamiento; por el contrario, se pretendía destacar cómo el análisis de los contextos de cada época, en los que de una u otra manera se interpretó el espacio-tiempo, ofrecía pautas a los estudiantes en sus formas de razonar y, de este modo, favorecer el desarrollo del Pensamiento Crítico.

Red de interpretación tipos de razonamiento Etapa II



Nota. Elaboración propia a través de VOSviewer

A lo largo de esta etapa se destacaron los Razonamientos Inductivos y Deductivos, los cuales se articularon con las corrientes de Historia y Filosofía de la Ciencia anteriormente descritas; el Razonamiento Inductivo tuvo prevalencia durante el contexto aristotélico, como se evidencia en la figura 27, dado que la inducción permite organizar ideas e inferir conclusiones que no se encuentran explícitas en los planteamientos abordados (Sanz & Sanz, 2006). Por su parte, el

Razonamiento Deductivo se manifestó en las perspectivas de Galileo, Newton y Einstein, siendo coherente relacionarlo con la interpretación relativista del espacio-tiempo. Desde la perspectiva de Peirce, la deducción permite activar y aplicar reglas generales a casos particulares, configurando así el razonamiento. Las respuestas de los estudiantes muestran que poseen la capacidad de integrar lo histórico, lo filosófico y el conocimiento científico con sus propias experiencias, articulándolas con el absolutismo y el relativismo, y reelaborando sus saberes previos evidenciados en la preconfiguración hermenéutica.

La figura 48 ofrece una perspectiva más amplia respecto a la interpretación del razonamiento por parte de los estudiantes en la fase de configuración hermenéutica; se muestra que el nodo central tiene mayor densidad, correspondiendo este al Razonamiento Deductivo, el cual se conecta con el Relativismo, el Absolutismo y el Historicismo, según el espesor de los puentes de conexión. No obstante, aunque en menor medida, también se observa una unión más distante con el Realismo Científico y la Epistemología Histórica.

Interpretar las narrativas de los estudiantes a través de sus respuestas textuales en esta fase muestra cómo su razonamiento se fue elaborando a medida que se implementaba la secuencia didáctica; se evidenció con mayor fuerza el Razonamiento Deductivo, el cual se ha ido articulando con el desarrollo del Pensamiento Crítico. Según Mackay et al. (2018), al ampliar su saber las personas adquieren capacidades de crítica que convergen en procesos analíticos y en la identificación de la utilidad de la información para su aprendizaje. En este contexto, los estudiantes van delimitando qué hacer o qué creer (Ennis, 2005) a partir de los contextos históricos y filosóficos abordados.

En este sentido, la vinculación entre el Razonamiento Deductivo y el Historicismo, como muestra la figura 48, evidencia que los estudiantes han comprendido que el conocimiento puede transformarse a lo largo de la historia y que no es único (Brown, 1977). Además, este surge mediante la forma de razonar y validar el saber en comunidad (Fleck, 1929), de tal manera que conocimiento e historia se encuentran estrechamente relacionados (Martínez, 2018).

En definitiva, la configuración hermenéutica planteada para su desarrollo desde las concepciones de Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein sobre el espacio-tiempo expuso cómo los estudiantes se enfrentaban a estos contextos históricos mostrando sus modos de razonar. Esto hace

relevante llevar al aula posturas de la Historia y Filosofía de la Ciencia, dado que la diferencia histórica entre dos sistemas científicos se explica únicamente al reconocer que la ciencia tiene un carácter histórico; además, esta no es exclusiva del campo intelectual ni completamente autónoma; por el contrario, se encuentra condicionada por los contextos históricos y por la forma de la razón humana que la configura (Nicol, 1945).

La transición entre la configuración y la refiguración hermenéutica evidencia el proceso filosófico, pedagógico y académico que los estudiantes experimentaron para comprender el espacio-tiempo; muestra que, más allá de una memorización de teorías, se desarrolla una reflexión histórica de la ciencia que permite reconocer en ellos una forma de razonar mediante la cual emerge el fortalecimiento del Pensamiento Crítico, al identificar y dialogar frente a las concepciones de Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein. De este modo, refiguran sus modos de pensar y constituyen un pensamiento más reflexivo, crítico y personal.

En la siguiente sección se desarrolla el análisis de la etapa final de la secuencia de razonamiento, correspondiente a la fase de refiguración o *mímesis III* del círculo hermenéutico. En esta, la interpretación de las respuestas de los estudiantes da cuenta de la transformación en su forma de ver y comprender tanto el conocimiento científico como el del espacio-tiempo.

Etapa III: Razonamiento Final (Refiguración)

Esta última sección, correspondiente a la Etapa III denominada *Razonamiento Final* y enmarcada en la fase de *refiguración* o *mímesis III* del círculo hermenéutico, constituye un momento en el que el estudiante, luego de haber transitado por este recorrido histórico y filosófico, genera una reinterpretación respecto a sus ideas previas planteadas en la fase de preconfiguración. Esta última actividad promueve la metacognición, fundamental para el desarrollo del Pensamiento Crítico (González, 2019), con el fin de evaluar las ideas previas y valorar la capacidad de razonamiento en torno al espacio-tiempo.

La encuesta final (anexo 7) retoma puntos clave para contextualizar la concepción del espacio y del tiempo como una sola entidad, así como la importancia que puede llegar a tener la

Historia y Filosofía de la Ciencia. Por consiguiente, en la figura 49 se observan los últimos tipos de razonamiento y las categorías asociadas a estos en el cierre de este círculo hermenéutico.

Figura 48. Tipos de razonamiento, Razonamiento Final (refiguración)

Nota. Elaboración propia

La figura 49 muestra los tipos de razonamiento finales que obtuvieron los estudiantes en la refiguración del círculo hermenéutico; es importante resaltar que en esta fase "la narración tiene su pleno sentido cuando es restituida al tiempo del obrar y del padecer" (Ricoeur, 1995, p. 139). Es decir, en esta etapa los estudiantes resignificaron su interpretación del espacio-tiempo, reconociendo la importancia que tienen la Historia y Filosofía de la Ciencia para la comprensión y el desarrollo del conocimiento científico.

Figura 49. Diagrama RD y RI en el HC y Relativismo

Nota. Elaboración propia

La interpretación en esta fase es fundamental para determinar el razonamiento como una habilidad del Pensamiento Crítico; en la figura 50 se observa la fuerte conexión que los estudiantes establecieron entre el Razonamiento Deductivo (RD) y el Inductivo (RI) con la corriente del Historicismo (HC) y el Relativismo. En este sentido, y siguiendo la línea de Brown (1977), se reconoce que la filosofía de la ciencia tiende hacia orientaciones historicistas, aceptando que el conocimiento no es una acumulación de verdades absolutas, por ende, está sujeto a modificaciones. Esto implica que no existe una verdad definitiva y que el cambio en las presunciones consideradas verdaderas puede transformarse, lo cual Brown denomina una revolución científica.

Con este fin, una vez centrados en determinar cuáles son los principios básicos del conocimiento, la lógica deductiva se edifica para comprender los procesos de inferencia que permiten explicar la construcción detallada del saber, lo que conlleva al empleo del razonamiento deductivo (Brown, 1977). Así pues, desde una perspectiva historicista, para comprender en la actualidad cómo se construyó y transformó el conocimiento científico, es necesario identificar los procesos y acontecimientos históricos, entendiendo la no linealidad de este y la relevancia de la interpretación histórica.

Esto conllevó a que los estudiantes lograran identificar las generalidades que abarca el relativismo, comprendiendo que no existe una universalidad en el espacio-tiempo y, al mismo

tiempo, reconociendo la importancia del sistema de referencia tanto en reposo como cuando adquiere una velocidad cercana a la de la luz. En este punto se evidencia la refiguración hermenéutica, en la medida en que los estudiantes alcanzan a establecer la relación histórica y filosófica que potencia su Pensamiento Crítico.

Figura 51. Respuesta estudiante E115, refiguración

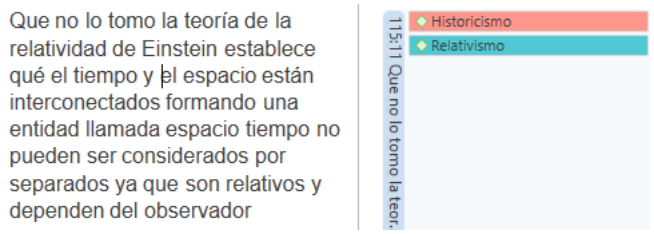
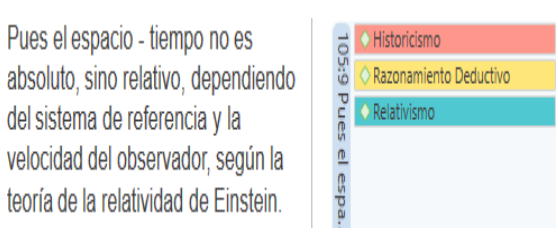


Figura 50. Respuesta estudiante E105



Nota. Elaboración propia

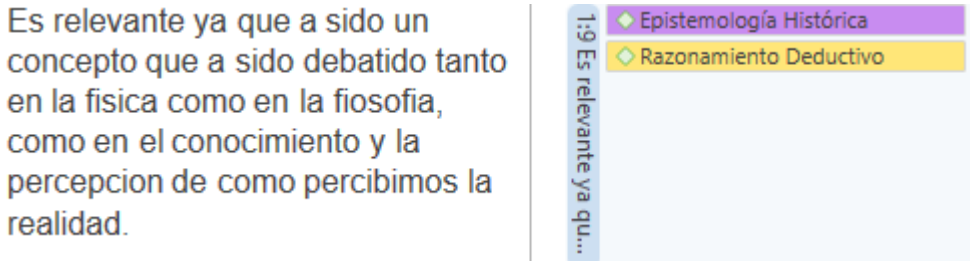
Las figuras 51 y 52 dan cuenta del proceso de refiguración en la interpretación del espacio-tiempo; el estudiante E115 se sitúa en el momento histórico de Einstein, identificando que la concepción de estas entidades se transformó a lo largo de la historia. Desde una perspectiva historicista, comprende que el conocimiento no es absoluto y puede modificarse, señalando que en un principio el espacio y el tiempo se concebían por separado, pero que en la actualidad existe una unificación. Además, reconoce que hoy se constituye un marco teórico fundamentado en la teoría de Einstein, motivo por el cual se asocia esta respuesta con la categoría de relativismo.

Asimismo, se evidencia la interpretación del estudiante E105, quien, al igual que su par, se sitúa en el marco de Einstein, reconociendo la transformación histórica en torno al espacio-tiempo; por esta razón, se le asigna la categoría de Historicismo. Asimismo, al plantear que "el espacio-tiempo no es absoluto sino relativo", manifiesta un razonamiento deductivo, pues parte de la premisa general establecida por la teoría y la asocia a una conclusión actualizada sobre el carácter relativo del espacio-tiempo, dependiente de la velocidad del observador. Esta postura se articula con el relativismo, al no considerarlo absoluto.

Notoriamente se observa que los estudiantes han resignificado sus preconcepciones previas al reconocer cómo la interpretación del espacio-tiempo se ha transformado para dar paso a nuevas teorías; en este proceso, articulan la historia y el relativismo para dar cuenta de dicha transformación. Del mismo modo, evidencian la importancia que poseen tanto la dimensión

histórica como la filosófica en la interpretación del conocimiento y en la comprensión de cómo este se construye.

Figura 52. Respuesta estudiante E1



Nota. Elaboración propia

La figura 53 expone la respuesta del estudiante E1 en esta etapa de la refiguración; en este caso, considera que los debates que se han propagado a lo largo de la historia son relevantes, de modo que el conocimiento se ha ido constituyendo históricamente a partir de dichas reflexiones, lo que permite asignarle la categoría de Epistemología Histórica. De manera similar, se identifica un razonamiento deductivo, ya que el estudiante sostiene que ha "sido (…) debatido tanto en física como en la filosofía", partiendo de un hecho general que lo conduce a la conclusión sobre la "relevancia" de los aportes históricos y filosóficos en torno al espacio-tiempo.

En esta fase final, los estudiantes evidencian la refiguración del conocimiento al articular la física con la historia y la filosofía en la interpretación del espacio-tiempo. Al reestructurar el problema —en este caso, la concepción de estas entidades a lo largo de la historia— e intentar darle una solución mediante un planteamiento final, se configura un acto de refiguración de su propio conocimiento.

En síntesis, desarrollar y aplicar el círculo hermenéutico para la interpretación de las respuestas de los estudiantes, con el fin de identificar los tipos de razonamiento que implementaron y activaron al ser introducidos en los contextos históricos y filosóficos para la comprensión del espacio-tiempo, permitió evidenciar que este desarrollo metodológico —descrito en los capítulos anteriores y sustentado en las tres fases de preconfiguración, configuración y refiguración, o triple *mímesis* (Ricoeur, 1995)— se articula con el enfoque de la doble interpretación expuesto por Vain (2012).

El primer camino de interpretación se fundamenta en la secuencia de razonamiento diseñada y aplicada en el aula, la cual constaba de tres etapas, cada una correspondiente a las fases del círculo hermenéutico; su propósito fue que los estudiantes interpretaran los contextos históricos y filosóficos acerca del espacio-tiempo, dando forma y organización a su conocimiento y activando los tipos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo—.

El segundo recorrido, constaba de como el investigador interpretaba las respuestas textuales de los estudiantes identificando los tipos de razonamiento predominantes en cada etapa, para así establecer la pertinencia de los aportes históricos y filosóficos de la ciencia en la comprensión del espacio-tiempo por parte de ellos y para ello se establecieron tres corrientes —Realismos científico, Historicismo y Epistemología Histórica— y así constituir la postura de ellos si el espacio-tiempo era absoluto o relativo, he acá la doble interpretación, el estudiante refigura su saber y el investigador refigura como ellos hacen este proceso.

Al asumir el círculo hermenéutico como proceso de interpretación basado en el diálogo y la reflexión sobre las situaciones planteadas, se abordan diferentes aspectos que permiten avanzar en la comprensión del espacio-tiempo (Quintana & Hermida, 2019). En este sentido, se establecieron unas condiciones —presentadas en la tabla 8, además de las señaladas en la figura 19— con el propósito de dar cuenta de la importancia de las corrientes históricas y filosóficas en la representación del espacio-tiempo por parte de los estudiantes.

Tabla 8. Condiciones de las corrientes Históricas y filosóficas establecidas.

Corriente histórica y filosófica	Condiciones
Realismo Científico	Los estudiantes afirman que el espacio-tiempo son entidades que existen y, asimismo, lo asocian con leyes y fenómenos observables.
Historicismo	Muestran la evolución del conocimiento al comprender su transformación a lo largo de la historia.
Epistemología Histórica	Las perspectivas y los conceptos no son eternos, pues pueden modificarse y dar lugar a nuevos horizontes y teorías.

Nota. Elaboración propia

Esto con el objetivo de mostrar que los aportes históricos y filosóficos son fundamentales en el aula, para comprender que la ciencia, en palabras de Nicol (1945), "en sí es histórica, es una creación del espíritu humano en las condiciones de una situación vital" (p. 387); en este sentido, reflexionar y discutir en torno a sistemas ontológicos y epistemológicos respecto a las entidades del espacio-tiempo (Vucetich, 2018) en el aula constituye un ejercicio que aporta criterios, argumentos y evaluación crítica del razonamiento, permitiendo a los estudiantes refigurar su saber en relación con el conocimiento científico y establecer pautas para el desarrollo de su Pensamiento Crítico.

Adicionalmente, el realismo del espacio-tiempo, desde su marco lingüístico, lógico, postulados y teoremas, fundamenta las descripciones objetivas del mundo, recontextualizando el proceso histórico que este abarca (Wang, 2019). En consecuencia, esta diversidad histórica en la interpretación del espacio-tiempo evidencia que cada teoría está sujeta a ser revisada, indagada y modificada cuando sea necesario (Lam & Wüthrich, 2018).

Los resultados obtenidos mediante la secuencia de razonamiento muestran que, inicialmente, los estudiantes recurrieron en mayor medida a explicaciones enmarcadas en el razonamiento inductivo, evidenciando que relacionaban su experiencia personal al dar solución a las situaciones planteadas acerca del espacio-tiempo, lo cual se articula con la fase de preconfiguración hermenéutica. Posteriormente, el tipo de razonamiento fue variando a medida que se introdujeron los contextos históricos y filosóficos en el aula; esto evidenció que la incorporación de la HFC permite identificar los obstáculos cognitivos y pedagógicos en la comprensión del espacio-tiempo (Arriassecq y Greca, 2022), lo que derivó en una reorganización de su pensamiento, potenciando un razonamiento deductivo y evitando depender únicamente de sus presaberes.

La articulación del círculo hermeneútico con el proceso de la secuencia de razonamiento posibilitó en los estudiantes reconstruir sus saberes al enfrentarse a contextos históricos y filosóficos para así hacer explícitos su tipo de razonamiento. Asimismo, interpretar las respuestas de ellos, muestra los alcances que la Historia y Filosofía de la Ciencia tienen en el aula, así los estudiantes muestren implícitamente las diferentes corrientes filosóficas que les permitió dar un significado al espacio-tiempo

Finalmente, el diálogo entre los aportes de la historia, la filosofía y la ciencia se constituye en un fundamento esencial para la formación del Pensamiento Crítico, al permitir identificar los estilos de razonamiento que los estudiantes construyen mediante su interpretación hermenéutica. Comprender la ciencia como una construcción histórica faculta a la enseñanza de la física para abordar temáticas que no suelen estar contempladas en las mallas curriculares; de este modo, en el siguiente capítulo se presentan las conclusiones que evidencian la pertinencia de este trabajo investigativo, así como sus alcances y limitaciones para la práctica pedagógica en la enseñanza del espacio-tiempo en la educación secundaria.

Capítulo VI

El pensamiento primitivo no era capaz de abstraer el concepto de espacio, de la experiencia espacial. Para la mente primitiva, "espacio" no era más que un conjunto accidental de orientaciones concretas, una multitud más o menos ordenada de direcciones locales, asociada cada una de ellas con determinadas reminiscencias emotivas (Jammer, 1970, pp. 25-26).

En este último capítulo se presentan las conclusiones derivadas de este trayecto investigativo en relación con los objetivos planteados, sintetizando los aportes que la Historia y Filosofía de la Ciencia ofrecieron para la comprensión del espacio-tiempo. Asimismo, se expone cómo el razonamiento, entendido como una habilidad fundamental, contribuye al fomento del Pensamiento Crítico en los estudiantes de educación secundaria y se destaca la relevancia de estos hallazgos para la Enseñanza de la Ciencia en este nivel educativo.

Conclusiones

El recorrido propuesto en esta investigación evidencia un camino amplio pero necesario para llevar al aula de educación secundaria temáticas que no suelen estar estipuladas en los currículos escolares, no solo en Colombia sino también en varios países latinoamericanos. Incluir la enseñanza del espacio-tiempo en este nivel académico implica enfrentar obstáculos y retos; sin embargo, estas trayectorias constituyen oportunidades para fundamentar y construir conocimiento orientado hacia una educación científica crítica y acorde con los nuevos avances de la ciencia.

Abordar contextos históricos y filosóficos de la ciencia para la comprensión del espacio-tiempo en los estudiantes plantea retos pedagógicos y didácticos, además de exigir la definición de posturas que den cuenta de su razonamiento y aporten al desarrollo del Pensamiento Crítico. A ello se suma la asunción de una reflexión hermenéutica que permita identificar la convergencia entre la

interpretación realizada por los estudiantes y la del investigador, lo cual da cuenta de la organización de los modos de pensar y otorga un carácter significativo a la Enseñanza de la Ciencia en la educación secundaria.

En relación con el primer objetivo específico planteado —*identificar los enfoques teóricos del espacio-tiempo en la Historia y Filosofía de la Ciencia*—, se evidencia que las concepciones del espacio-tiempo no son absolutas ni homogéneas, sino que han experimentado transformaciones desde la visión de Aristóteles hasta la interpretación de Einstein a inicios del siglo XX, momento en el que se consolida la Teoría de la Relatividad y se estructura una nueva física. Tanto los cambios de paradigma (Kuhn, 2013) como las rupturas epistemológicas (Bachelard, 1991) muestran la manera en que el conocimiento científico se modifica y evoluciona.

Los enfoques propuestos desde las miradas de Platón y Plotino, aunque pertenecientes a épocas diferentes, coincidieron en relacionar el espacio y el tiempo desde posturas ontológicas y metafísicas. No obstante, Aristóteles, desde su lógica, fundamentó y articuló el tiempo con el movimiento; esto permite reconocer que, desde la Antigüedad, se configuraron estilos de razonamiento que respondían a las necesidades de cada época (Hacking, 1996, 2012).

Los experimentos mentales permitieron a la ciencia generar un enfoque en la interpretación del movimiento, ofreciendo un indicio sobre el sistema de referencia y constituyendo, en Galileo, el principio de relatividad, lo que abrió la posibilidad de debatir distintas posturas. No obstante, la perspectiva absolutista de Newton consolidó la idea de que el espacio y el tiempo debían concebirse como marcos conceptuales independientes del movimiento y homogéneos, planteamientos que serían objeto de intenso debate en los años y siglos posteriores, generando tanto opositores como defensores.

Sin embargo, la necesidad de abandonar el absolutismo fue puesta de manifiesto por pensadores como Leibniz y Mach, quienes mostraron que el conocimiento científico siempre está sujeto a transformaciones. Esto se evidencia, por ejemplo, cuando Galileo rompe con las ideas aristotélicas y, posteriormente, Einstein transforma radicalmente el absolutismo newtoniano al unificar el espacio y el tiempo como una sola entidad dependiente del observador.

Identificar los contextos históricos permitió reconocer que la filosofía ha sido fundamental para la construcción y evolución del conocimiento, así como para la interpretación del espacio-tiempo. En esta línea, Kant lo propuso como una forma *a priori* de la sensibilidad, mientras que Heidegger lo abordó desde la existencia del ser, evidenciando que, en la física, resulta indispensable considerar la filosofía para su análisis e interpretación.

Los aportes brindados por la Historia y Filosofía de la Ciencia evidencian que las contribuciones conceptuales y teóricas provienen de contextos socioculturales específicos; el relativismo surgió precisamente como respuesta a problemáticas que la física clásica no lograba resolver. En este sentido, y siguiendo la línea de Kragh (1989), se comprende que la ciencia se desarrolla a partir de un proceso histórico y no como una acumulación lineal de saberes. Por ende, el espacio-tiempo, concebido como entidad, emerge desde este fundamento filosófico, histórico y científico.

Para finalizar los alcances del primer objetivo, se reconoce el valor pedagógico de la Historia y Filosofía de la Ciencia para la enseñanza del espacio-tiempo, en tanto permiten mostrar la ciencia en el aula como un proceso complejo de reflexiones y debates en permanente transformación. De este modo, se promueve el desarrollo del Pensamiento Crítico en los estudiantes, favoreciendo una comprensión más profunda de estas entidades.

En cuanto al segundo objetivo específico —*establecer relaciones entre la Historia y Filosofía de la Ciencia y el Pensamiento Crítico para la educación secundaria*—, la metodología propuesta cobró especial relevancia; basada en el círculo hermenéutico para la interpretación de las respuestas de los estudiantes, obtenidas a través de la secuencia de razonamiento, esta permitió acercar al estudiante a un diálogo con los contextos históricos y filosóficos del espacio-tiempo mediante un proceso metacognitivo. De este modo, se favoreció que los estudiantes desarrollaran diversas formas de pensar, generando tipos de razonamiento que fortalecieron su capacidad crítica.

Como se destacó en el capítulo anterior, la Historia y Filosofía de la Ciencia —desde las perspectivas del Realismo Científico, el Historicismo y la Epistemología Histórica— constituyen un puente epistemológico para que, a través del razonamiento, se desarrolle el Pensamiento Crítico en los estudiantes. La introducción de estas corrientes en la secuencia de razonamiento favoreció que los estudiantes reconocieran la ciencia como un proceso dinámico; así, la polémica entre

Leibniz y Clarke, los planteamientos prerrelativistas y los diversos contextos socioculturales e históricos se convierten en escenarios que potencian el Pensamiento Crítico, al constatar que no existen verdades absolutas.

Asimismo, la triple mímesis de Ricoeur resultó fundamental para establecer relaciones con los tipos de razonamiento —inductivo, deductivo y abductivo—, al permitir contrastar las posturas sobre el espacio-tiempo durante la aplicación de la secuencia de razonamiento; de este modo, el Pensamiento Crítico cobró fuerza al evidenciar las grandes diferencias entre absolutismo y relativismo. Además, la Historia y Filosofía de la Ciencia resaltaron los marcos conceptuales y epistemológicos presentes en sus planteamientos y rupturas, generando escenarios de discusión en los que los estudiantes debían construir sus narrativas, argumentar y evaluar las evidencias proporcionadas. Así, la Historia y Filosofía de la Ciencia se constituyeron en fuentes esenciales para el desarrollo de habilidades críticas.

Ahora bien, la doble interpretación propuesta desde el marco metodológico sustenta el círculo hermenéutico como un proceso pedagógico en el cual el estudiante lee el contexto histórico y lo configura y refigura para dar sentido a su narrativa crítica; este recorrido le permite comprender la evolución del conocimiento e identificar su propia forma de aprender en cada fase hermenéutica. Por ende, al establecer estas relaciones entre la Historia y Filosofía de la Ciencia (HFC) y el Pensamiento Crítico en la Enseñanza de la Ciencia, se abordan situaciones problemáticas frente a las cuales el estudiante busca generar soluciones coherentes, activando un tipo de razonamiento.

Esta postura metodológica contribuye a la formación crítica del estudiante frente al conocimiento, al establecer que siempre existen nuevas preguntas y paradigmas que deben ser cuestionados e interpretados. Asimismo, la aplicación del círculo hermenéutico en el aula evidencia que el Pensamiento Crítico no surge de manera espontánea; por el contrario, requiere vincularse con los contextos históricos para que los estudiantes activen sus procesos de razonamiento inductivo, deductivo y abductivo, fortaleciendo de este modo su capacidad de análisis.

En síntesis, los alcances de este segundo objetivo muestran que la triangulación entre la Historia y Filosofía de la Ciencia, el Pensamiento Crítico y los tipos de razonamiento se constituye en un pilar fundamental para la comprensión del espacio-tiempo, evidenciando que la construcción del conocimiento se da a través de rupturas epistémicas. Esto se constata en la interpretación de los

estudiantes al aplicar el círculo hermenéutico y refigurar su manera de concebir la ciencia, lo que fundamenta la posibilidad de llevar marcos conceptuales de la física actual a la enseñanza secundaria.

Por último, la dimensión del tercer objetivo específico —*caracterizar el razonamiento como habilidad de* Pensamiento Crítico *en el aula a partir de la configuración del espacio-tiempo desde el escenario de la Historia y Filosofía de la Ciencia*— adquiere una relevancia fundamental, dado que se constató que la combinación de los razonamientos inductivo, deductivo y abductivo genera espacios de aprendizaje profundos y significativos. Esta tríada de razonamientos se produce porque los estudiantes logran desarrollar habilidades de conjetura razonable que contrastan con los contextos históricos, enriqueciendo así su capacidad crítica.

Además, los estudiantes desarrollaron su capacidad crítica al identificar supuestos, analizar evidencias y generar hipótesis, hechos que se constituyen teóricamente en los estilos de razonamiento, demostrando así el fortalecimiento del Pensamiento Crítico. Como se evidenció en los resultados, el razonamiento deductivo prevaleció en la secuencia de razonamiento; al transitar por los contextos de Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein, los estudiantes lograron dar coherencia a sus narrativas, evaluando las premisas que surgían y configurando su pensamiento, tal como lo establece el círculo hermenéutico.

Asimismo, el razonamiento inductivo permitió a los estudiantes constatar que la ciencia también puede apoyarse en experimentos mentales para dar sentido a la explicación de los fenómenos abordados e inferir generalizaciones, las cuales son discutibles y cambiantes. Del mismo modo, el razonamiento abductivo asumió un papel fundamental al posibilitar que los estudiantes formularan conjeturas cuando no lograban explicar el espacio-tiempo desde el contexto histórico, fortaleciendo así su creatividad y su disposición para activar procesos de pensamiento.

La interacción de estos tres tipos de razonamiento evidencia que son primordiales para el desarrollo del Pensamiento Crítico, en tanto los estudiantes articulan sus conclusiones con hipótesis propias y con las teorías universales que conocen. En este sentido, el círculo hermenéutico garantizó que ninguno de los razonamientos fuera ignorado, posibilitando la refiguración de un diálogo entre ellos y favoreciendo una comprensión más amplia y profunda del espacio-tiempo.

Aun cuando la deducción no genere nuevos conocimientos, sí construye una coherencia lógica (Peirce, 1878); además, potencia el Pensamiento Crítico al hacer conscientes a los estudiantes del proceso metacognitivo necesario para establecer sus propias conclusiones y reconocer la vinculación existente entre la historia, la filosofía y la ciencia para dar respuesta a los fenómenos naturales, así como para cuestionar y comprender la transformación del conocimiento científico.

Finalmente, el desarrollo de los objetivos específicos converge en la magnitud del objetivo general planteado: *Analizar los aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la configuración del Espacio-Tiempo para el desarrollo del Pensamiento Crítico en estudiantes de secundaria*. De este modo, se demuestra que la Historia y Filosofía de la Ciencia constituyen un factor decisivo para la enseñanza del espacio-tiempo en la educación secundaria.

La configuración histórica y filosófica del espacio-tiempo permitió evidenciar que este no es simplemente un concepto abstracto y matemático, sino un constructo sujeto a reflexiones y debates epistemológicos que transforman paradigmas. Asimismo, el uso de la Historia y Filosofía de la Ciencia no se orienta únicamente a transmitir contenidos; por el contrario, constituye un horizonte de interpretación desde el cual se aprende a comprender la ciencia como un proceso histórico.

Las narrativas que los estudiantes construyeron desde Aristóteles hasta Einstein les permitieron reconocer que la ciencia es un campo investigativo que no se centra en verdades absolutas y en lograr comprender que las explicaciones pueden variar y transformarse a medida que se plantean los dilemas históricos y filosóficos del espacio-tiempo. En este sentido, el Pensamiento Crítico no fue una consecuencia inmediata de los hechos abordados, fue una construcción paulatina que se forjó al enfrentarse a las distintas percepciones sobre el espacio-tiempo y resignificarlas para dar cabida a nuevas teorías. En conclusión, la configuración del espacio-tiempo a través de la Historia y Filosofía de la Ciencia permitió constatar que los estudiantes pueden desarrollar habilidades de razonamiento que les posibiliten evaluar críticamente las evidencias y organizar coherentemente su pensamiento.

Alcances, limitaciones y proyecciones

La presente tesis doctoral fue una apuesta bastante desafiante, dado que pretendió articular tres ejes fundamentales para el conocimiento: la Historia y Filosofía de la Ciencia, el Pensamiento Crítico y el espacio-tiempo, cada uno de ellos con un amplio campo investigativo de manera individual. Sin embargo, uno de los principales alcances de esta investigación fue consolidar que la HFC se constituye como un eje pertinente a la hora de abordar el espacio-tiempo en el aula de la educación secundaria, convirtiéndose en una comprensión crítica y situada.

Además, consolidar el marco metodológico de análisis desde el círculo hermenéutico ofrece marcos pedagógicos y didácticos en contextos de la enseñanza de la física en este nivel educativo, fortaleciendo la capacidad de los estudiantes en su forma de razonar y estableciéndose como una habilidad del Pensamiento Crítico para reflexionar, cuestionar y reinterpretar tanto su propio conocimiento como el científico.

No obstante, la amplitud histórica y filosófica del espacio-tiempo va más allá de lo que se abordó en esta tesis, no porque fuese menos importante, sino porque la magnitud de esta hace necesario limitarla para lograr que los estudiantes de la educación secundaria den cuenta del alcance del conocimiento científico en la historia de la humanidad.

De manera complementaria, esta investigación abre la posibilidad de diseñar currículos de física en los que se aborde el espacio-tiempo desde los enfoques históricos y filosóficos que fortalezcan el Pensamiento Crítico en el aula de secundaria. También permite potenciar los tipos de razonamiento como una habilidad del Pensamiento Crítico en estudiantes de este nivel académico. Asimismo, la articulación metodológica expone el componente hermenéutico como un diálogo entre las prácticas educativas y los tipos de razonamiento que los estudiantes pueden alcanzar.

Por último, es importante no dejar de lado las reflexiones históricas y filosóficas en cuanto al abordaje del conocimiento en el aula, dado que constituyen una fuente pedagógica que ayuda a fomentar tanto el Pensamiento Crítico como el interés hacia la ciencia, y además permiten transformar la enseñanza tradicional de esta.

Referencias

Acevedo, D. J., García, D. A., & Aragón, M. (2017). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química, 28*(3), 140-146. https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.12.003

Addad, R., Rosolio, A., & Cassan, R. (2022). Reflexiones sobre la enseñanza actual en física. Base conceptual. *Revista de Enseñanza de la Física, 34*(1), 9-14.

Adúriz-Bravo, A., & Pinillos, A. (2022). Abduction as a mode of inference in science education. *Science & Education, 31*, 1-28. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00366-8

Aguilar, S. (2022). Medición científica y el caso de Einstein contra Lorentz. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía, 54*(160), 3-30. https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2022.1308

Aguilar, Y., & Romero, A. (2011). A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias. *Revista Científica, 3*, 169-174.

Agustín, S. (2010). Libro XI. En el interior del corazón: eternidad de Dios y caída del alma en el tiempo. In S. Agustín, Confesiones (J. J. Iso, J. L. Moralejo, & G. A. Medina, Trans., pp. 541-583). Madrid: Gredos, S. A.

Aliseda, A. (1998). La abducción como cambio epistémico: C. S. Peirce y las teorías epistémicas en inteligencia artificial. *Analogía, 12*, 125-144.

Aliseda, A. (2006). *Abductive reasoning: Logical investigations into discovery and explanation*. Springer.

Almeida, S., & García, A. (2023). Aportes de la historia y filosofía en la enseñanza de las ciencias a partir de la actividad experimental asociada a la hidráulica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 18*(1), 134-148. https://doi.org/10.14483/23464712.19116

Alstein, P., Krijtenburg, L., & van Joolingen, W. (2021). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review. *Physical Review Physics Education Research, 17*(2), 023101. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023101

Amenábar, A. (Director). (2009). *Ágora* [Película]. Telecinco Cinema.

Aristóteles. (1995). *Física* (G. R. De Echandía, Trad.). Gredos.

Arráez, M., Calles, J., & Moreno, D. (2006). La hermenéutica: una actividad interpretativa. *Sapiens, 7*(2), 30-50.

Arriassecq, I., & Greca, I. (2022). Introducing Einsteinian physics in high school and college. En J. Guisasola & E. McLoughlin (Eds.), *Connecting research in physics education with teacher education* (pp. 76-92). International Commission on Physics Education.

Arriassecq, I., & Guridi, V. (2020). Contributions to physics education from the history and philosophy of science. En *Science education research in Latin America* (pp. 481-502). Brill.

Arriassecq, I., Cayul, E., & Greca, I. (2017a). Secuencias de enseñanza y aprendizaje basadas en resultados de investigación: Propuesta de un marco teórico para el abordaje de la teoría especial de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias, 35*(1), 133-155. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1716

Arriassecq, I., Cayul, E., & Greca, I. (2017b). Enseñanza de la teoría general de la relatividad en la escuela secundaria: Por qué, qué y cómo. *Revista de Enseñanza de la Física, 29*(2), 33-44. https://doi.org/10.55767/2451.6007.v29.n2.18802

Arriassecq, I., Seoane, E., Cayul, E., & Greca, I. (2016). Teoría especial de la relatividad en la escuela secundaria: Perspectiva de los docentes y análisis de textos. *Revista de Enseñanza de la Física, 28*(1), 15-22. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15618

Arteaga, V., Armada, A., & Del Sol, M. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio: Retos y sugerencias. *Revista Universidad y Sociedad, 8*(1), 169-176.

Asencio-Cabot, E. (2017). La educación científica: Percepciones y retos actuales. *Educación y Educadores, 20*(2), 282-296. https://doi.org/10.5294/edu.2017.20.2.7

Astalini, D., Wirayuda, R., Putri, W., Setiya, R. E., et al. (2023). Impact of science process skills on thinking skills in rural and urban schools. *International Journal of Instruction, 16*(2), 803-822. https://doi.org/10.29333/iji.2023.16242a

Ávila, B. (2025). El manejo de datos y su aplicación en el contexto de la inteligencia artificial. En V. G. Torres (Ed.), *Información y datos en tiempos de pospandemia: Investigación, docencia* (pp. 93-104). UNAM.

Bachelard, G. (1991). *La formación del espíritu científico: Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo* (J. Babini, Trad.). Siglo XXI Editores.

Bächtold, M., & Munier, V. (2019). History and philosophy of science: A lever to teach energy at high school. En E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran, & P. E. Childs (Eds.), *Bridging research and practice in science education: Selected papers from the ESERA 2017* (pp. 19-33). Springer Nature Switzerland.

Barrero, E., Bohórquez, A., & Mejía, P. (2011). La hermenéutica en el desarrollo de la investigación educativa en el siglo XXI. *Itinerario Educativo, 25*(57), 101-120.

Beade, I. (2017). Educación y progreso en la reflexión pedagógica kantiana. *Revista Complutense de Educación, 28*(2), 649-662.

Bergson, H. (2004). *Duración y simultaneidad: A propósito de la teoría de Einstein* (J. Martín, Trad.). Del Signo.

Blanco, L., España, R., & Franco-Mariscal, A. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica, 1*(1), 107-115. https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004

Borge, B. (2015). Realismo científico hoy: A 40 años de la formulación del argumento del no-milagro. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, 37*(2), 221-233. https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v37i2.26933

Borge, B., & Mettini, G. (2018). El estatus epistémico de los experimentos mentales en ciencias fácticas. *Kriterion: Revista de Filosofía, 59*(140), 341-364.

Bouton, C. (2017). Is the future already present? The special theory of relativity and the block universe view. En *Time of nature and the nature of time: Philosophical perspectives of time in natural sciences* (pp. 89-121). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53725-2_6

Brown, H. (1977). For a modest historicism. *The Monist, 60*(4), 540-555. http://www.jstor.org/stable/27902501

Bustamante, G. (2013). *Sujeto, sentido y formación: La educación vista desde el psicoanálisis con sesgo lingüístico*. San Pablo.

Bustamante, G. (2019). *La formación como efecto*. Editorial Aula de Humanidades SAS.

Caballero, C., & Recio, M. (2007). Las tendencias de la didáctica de las ciencias naturales en el siglo XXI. *Varona, 44*, 34-41. https://www.redalyc.org/pdf/3606/360635564007.pdf

Cabello, V., Moreira, P., & Griñó, M. (2021). Elementary students' reasoning in drawn explanations based on a scientific theory. *Education Sciences, 11*(10), 581. https://doi.org/10.3390/educsci11100581

Cala , V. F. (2006). De la Relatividad de la Inercia a la Geometrodinámica Intrínseca: Una Interpretación Relacional del Espacio-Tiempo. [Tesis doctoral]. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.

Canguilhem, G. (1985). El conocimiento de la vida. *Sociología: Revista de la Facultad de Sociología de Unaula*, (5), 5-40.

Canguilhem, G. (2005). *Ideología y racionalidad en la historia de las ciencias de la vida: Nuevos estudios de historia y de filosofía de las ciencias* (I. Agoff, Trad.). Amorrortu Editores.

Canguilhem, G. (2009). *Estudios de historia y de filosofía de las ciencias*. Amorrortu Editores.

Cañón, P., Casas, C., Lozano, C., Morales, G., & Silva, C. (2017). *Capacidad y formación: El desarrollo humano como devenir del sujeto social*. Editorial Aula de Humanidades.

Cardani, M. (2012). Leibniz: Física y metafísica en el carteo con Clarke y en el *Phoranomus*. *Cuaderno de Materiales, 24*, 51-60.

Carroll, S. (2015). *Desde la eternidad hasta hoy: En busca de la teoría definitiva del tiempo* (S. M. Pérez, Trad.). Debate.

Castañeda, Z., López, R., & Osorio, V. (2024). La relatividad general en la educación básica y media: Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 21*(1), 2303. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2303

Castro, M. (2018). Estilos de razonamiento, prácticas científicas y epistemología histórica: Una propuesta de articulación entre la historia y la filosofía de la ciencia. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, 18*(37), 113-148. https://doi.org/10.18270/rcfc.v18i37.2572

Cayul, E., & Arriassecq, I. (2015). Utilización de los diagramas de Minkowski para la enseñanza de la teoría especial de la relatividad en la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de la Física, 27*(1), 323-331. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12622

Céspedes, G. (2016, noviembre 17). Análisis del fenómeno dualidad onda-partícula desde la producción del conocimiento. Universidad Santo Tomás.

Chakravartty, A., & van Fraassen, B. (2018). What is scientific realism? *Spontaneous Generations: A Journal for the History and Philosophy of Science, 9*(1), 12-25. https://doi.org/10.4245/sponge.v9i1.26992

Cosmo, E. (2018). *Relatividad*. https://www.iac.es/cosmoeduca/relatividad/index.html

Daros, W. R. (2012). La educación entendida como formación humana y social. *Invenio: Revista de investiación académica, 15*(28), 19-28.

Daston, L. (2017). The history of science and the history of knowledge. *Journal on the Formation of Knowledge, 1*(1), 131-154. https://doi.org/10.1086/691678

De Hipona, A. (2010). Libro XI. En el interior del corazón I: Eternidad de Dios y caída del alma en el tiempo. En S. Agustín, *Confesiones* (O. A. Encuentra, Trad., pp. 541-583). Gredos.

Dorato, M. (2008). Is structural spacetime realism relationism in disguise? The supererogatory nature of the substantivalism/relationism debate. En D. Dieks (Ed.), *The ontology of spacetime II* (pp. 17-37). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1871-1774(08)00002-8

Dua, Y., Blair, D., Kaur, T., & Choudhary, R. (2020). Can Einstein's theory of general relativity be taught to Indonesian high school students? *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 9*(1), 50-58. https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22468

Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik, 322*(10), 891-921. https://doi.org/10.1002/andp.19053221004

Einstein, A. (1905/2005). Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento [Zur Elektrodynamik bewegter Körper] (H. Quevedo, Trad.). *Annalen der Physik* (Vol. 4). http://webs.ftmc.uam.es/juancarlos.cuevas/Teaching/articulo-original.pdf

Einstein, A. (1986). *El significado de la relatividad*. Planeta-Agostini.

Einstein, A., & Infeld, L. (1986). *La evolución de la física*. Salvat Editores.

Elosúa, M., & García, E. (1993). *Estrategias para enseñar y aprender a pensar*. Narcea.

Ennis, R. (2005). Pensamiento crítico: Un punto de vista racional (A. J. Bueno, Trad.). *Revista de Psicología y Educación, 1*(1), 47-64. http://www.revistadepsicologiayeducacion.es/pdf/5.pdf

Esposito, M. (2018). Sobre el uso y significado de la historia en la filosofía de la ciencia. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, 18*(37), 87-112. https://doi.org/10.18270/rcfc.v18i37.2548

Facione, P. (2007). Pensamiento crítico: ¿Qué es y por qué tan importante? *Insight Assessment*. http://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/PensamientoCriticoFacione.pdf

Feest, U., & Sturm, T. (2011). What (good) is historical epistemology? Editors' introduction. *Erkenntnis, 75*(3), 285-302. https://doi.org/10.1007/s10670-011-9345-4

Figueroa, C., Pezoa, C., Godoy, M., & Díaz, A. (2020). Habilidades de pensamiento científico: Una propuesta de abordaje interdisciplinar de base sociocrítica para la formación inicial docente. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación, 19*(41), 257-273. https://revistas.ucsc.cl/index.php/rexe/article/view/867

Fleck, L. (1929). Zur Krise der „Wirklichkeit". *Naturwissenschaften, 17*, 425-430. https://doi.org/10.1007/BF01513488

Fleck, L. (1986a). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico: Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento* (L. Meana & D. A. González, Trads.). Alianza Editorial.

Fleck, L. (1986b). The problem of epistemology [1936]. En R. S. Cohen & T. Schnelle (Eds.), *Cognition and fact: Materials on Ludwik Fleck* (pp. 79-112). D. Reidel Publishing Company.

Fleck, L. (1994). Sobre la crisis de la "realidad". (J. Atienza, R. Blanco & J. M. Iranzo, Trads.). *REIS: Revista Española de Investigaciones Sociológicas, 67*, 251-264.

Foppoli, A., Choudhary, R., Blair, D., Kaur, T., Moschilla, J., & Zadnik, M. (2018). Public and teacher response to Einsteinian physics in schools. *Physics Education, 54*(1), 015001. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae4a4

Foucault, M. (2002). *La arqueología del saber* (D. A. Garzón, Trad.). Siglo XXI Editores Argentina.

Freire, J. (2025). História e ensino de física nas páginas da RBEF: Anotações sobre o passado recente e desafios atuais. *Revista Brasileira de Ensino de Física, 47*(1). https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0434

Gadamer, H.-G. (1999). *Verdad y método I*. Ediciones Sígueme.

Galilei, G. (2013). *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. REA Edizioni. Edición Kindle.

Galili, I. (2024). The observer concept in science as a basis for its further curricular application within the discipline culture paradigm. *Science & Education*, *1*, 1-31. https://doi.org/10.1007/s11191-024-00521-3

García, B. (1996). Prólogo. En H. Reichenbach, *Objetivos y métodos del conocimiento físico* (pp. 7-11). Fondo de Cultura Económica.

García, C. (2021). Improving pre-service elementary teachers' understanding of the nature of science through an analysis of the historical case of Rosalind Franklin and the structure of DNA. *Research in Science Education, 51*(2), 347-373.

García, D., Domínguez, C., & García-Rodeja, F. (2002). Razonamiento y argumentación en ciencias: Diferentes puntos de vista en el currículo oficial. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, 20*(2), 217-228. https://ensciencias.uab.cat/article/view/v20-n2-garcia-dominguez-garcia-etal/1873

García, R. (2006). Epistemología y teoría del conocimiento. *Salud Colectiva, 2*(2), 113-122.

Giere, R. (1973). History and philosophy of science: Intimate relationship or marriage of convenience? *The British Journal for the Philosophy of Science, 24*(3), 282-297. http://www.jstor.org/stable/686234

Ginnobili, S. (2022). El enfoque histórico-filosófico y la didáctica de la ciencia: A 60 años de la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas*. *Revista de Educación en Biología, 25*(2), 3-21.

González, G. (2019). Enseñanza de la biología y pensamiento crítico: La importancia de la metacognición. *Revista de Educación en Biología, 22*(1), 4-24.

González, M. (2001). El paradigma interpretativo en la investigación social y educativa: Nuevas respuestas para viejos interrogantes. *Cuestiones Pedagógicas: Revista de Ciencias de la*

Educación, 15, 227-246. https://revistascientificas.us.es/index.php/Cuestiones-Pedagogicas/article/view/10155

Guarín, C. (2013). *Diversidad conceptual y epistémica de los conceptos de espacio y tiempo*. Universidad Pedagógica Nacional.

Guillaumin, G. (2005). Historia de la ciencia y filosofía de la ciencia: Relaciones inestables e historicidad en la ciencia. En S. F. Martínez & G. Guillaumin (Eds.), *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia* (pp. 177-193). Instituto de Investigaciones Filosóficas.

Guridi, V., & Arriassecq, I. (2004). Historia y filosofía de las ciencias en la educación polimodal: Propuesta para su incorporación al aula. *Ciência & Educação, 10*(3), 307-316.

Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir* (S. Martínez, Trad.). Paidós Mexicana.

Hacking, I. (2001). *¿La construcción social de qué?* (N. J. Sánchez, Trad.). Paidós.

Hacking, I. (2009). *Scientific reason*. Institute for Advanced Studies in Humanities and Social Sciences, National Taiwan University.

Hacking, I. (2012). "Language, truth and reason" 30 years later. *Studies in History and Philosophy of Science Part A, 43*(4), 599-609. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2012.07.002

Heidegger, M. (1999). El concepto de tiempo. En P. R. Gabás & J. A. Escudero (Eds.), *Conferencia pronunciada ante la Sociedad Teológica de Marburgo en 1924* (pp. 1-9). Ediciones Sígueme.

Heidegger, M. (1927). *Ser y tiempo* (J. E. Rivera, Trad.). Editorial Universitaria de Chile.

Held, K. (2009). Fenomenología del "tiempo propio" en Husserl y Heidegger. *La Lámpara de Diógenes*, *10*(17), 9-29.

Henriksen, E., Bungum, B., Angell, C., Tellefsen, C., Frågåt, T., & Bøe, M. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: Challenges, opportunities and proposed approaches. *Physics Education, 49*(6), 678-690. https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/6/678

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, T. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill.

Heyl, P. (1929). Space, time and Einstein. *The Scientific Monthly, 29*(3), 230-235. https://www.jstor.org/stable/14594

Houser, N., & Kloesel, C. (Eds.). (2012). *Obra filosófica reunida. Tomo I (1867-1893)* (D. McNabb, Trad.). Fondo de Cultura Económica.

Houser, N., & Kloesel, C. (Eds.). (2012). *Obra filosófica reunida. Tomo II (1893-1913)* (D. McNabb, Trad.; S. Barrena, Rev.). Fondo de Cultura Económica.

Hu, X., & Bi, H. (2025). Exploring and validating the componential model of students' scientific critical thinking in science education. *Thinking Skills and Creativity, 55*, 101695. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101695

Hume, D. (1984). *Tratado de la naturaleza humana I* (F. Duque, Trad.). Orbis S. A.

Husserl, E. (2002). *Lecciones de fenomenología de la conciencia interna del tiempo* (D. A. Serrano, Trad.). Trotta.

Ismael, J. (2017). Passage, flow, and the logic of temporal perspectives. En C. Bouton & P. Huneman (Eds.), *Time of nature and the nature of time: Philosophical perspectives of time in natural sciences* (pp. 23-38). Springer Nature.

Izquierdo-Aymerich, M., García, M., Quintanilla, G., & Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. http://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2016/09/historia_filosofia_y_didactica_de_las_ciencias_aportes_para_la_formacion_del_profesorado_de_ciencias.pdf

Jammer, M. (1970). *Conceptos de espacio*. Grijalbo.

Jaramillo, R., Vera, T., Alarcón, J., Quiñónez, A., & Arteaga, C. (2023). Estrategias efectivas para fomentar el pensamiento crítico en el aula. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7*(2), 6147-6162. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5780

Kant, I. (2005). *Crítica de la razón pura* (P. Ribas, Trad.). Taurus Pensamiento.

Kant, I. (2014). *La "Dissertatio" de 1770 sobre la forma y los principios del mundo sensible y del inteligible* (R. Ceñal, Trad.). Ediciones Encuentro.

Kant, I. (2016). *Pedagogía* (M. Fernández, Ed.; L. Luzuriaga & J. L. Pascual, Trads.). Akal.

Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., & Zadnik, M. (2017a). Teaching Einsteinian physics at schools: Part 2, models and analogies for quantum physics. *Physics Education, 52*(6), 065013. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e1

Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W., & Zadnik, M. (2017b). Teaching Einsteinian physics at schools: Part 1, models and analogies for relativity. *Physics Education, 52*(6), 065012. https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e4

Kaur, T., Blair, D., Stannard, W., Treagust, D., Venville, G., Zadnik, M., et al. (2020). Determining the intelligibility of Einsteinian concepts with middle school students. *Research in Science Education, 50*(6), 2505-2532. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9791-y

Kaur, T., Kersting, M., Adams, K., Blair, D., Treagust, D., Lonshakova, A., et al. (2024). Developing and implementing an Einsteinian science curriculum from years 3–10: Teacher upskilling and classroom experience. *Physics Education, 59*(6), 065014. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad6dcb

Kersting, M., & Steier, R. (2018a). Understanding curved spacetime: The role of the rubber sheet analogy in learning general relativity. *Science & Education, 27*(5), 593-623. https://doi.org/10.1007/s11191-018-9997-4

Kersting, M., Henriksen, E., Bøe, M., & Angell, C. (2018b). General relativity in upper secondary school: Design and evaluation of an online learning environment using the model of

educational reconstruction. *Physical Review Physics Education Research, 14*(1), 010130. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010130

Kienzler, W. (2010). Wittgenstein über „Gedankenexperimente“. *Wittgenstein-Studien, 1*(1), 39-70. https://doi.org/10.1515/9783110222999.39

Klein, H., & Myers, M. (1999). A set of principles for conducting and evaluating interpretive field studies in information systems. *MIS Quarterly, 23*(1), 67-93. https://doi.org/10.2307/249410

Kolstø, S., Paulsen, V., & Mestad, I. (2024). Critical thinking in the making: Students' critical thinking practices in a multifaceted SSI project. *Cultural Studies of Science Education, 19*(2), 499-530. https://doi.org/10.1007/s11422-024-10217-3

Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia* (T. de Lozoya, Trad.). Crítica.

Kublikowski, I. (2023). Reflections on analysis in qualitative research: The hermeneutic circle in Ricoeur. *Paidéia, 33*, e3319. https://doi.org/10.1590/1982-4327e3319

Kuhn, T. (1985). Una función para los experimentos mentales. En I. Hacking (Ed.), *Revoluciones científicas* (J. J. Utrilla, Trad., pp. 17-57). Fondo de Cultura Económica.

Kuhn, T. S. (2013). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.

Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica* (J. Worall & G. Currie, Eds.). Alianza Editorial.

Lakatos, I. (2011). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales* (N. D. Ribes, Trad.). Tecnos.

Lam, V., & Wüthrich, C. (2018). Spacetime is as spacetime does. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 64*, 39-51. https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2018.04.003

Lehavi, Y., & Eylon, B.-S. (2018). Integrating science education research and history and philosophy of science in developing an energy curriculum. En M. R. Matthews (Ed.),

History, philosophy and science teaching: New perspectives (pp. 235-257). Springer International Publishing.

Lesne, A. (2017). Time variable and time scales in natural systems and their modeling. En C. Bouton & P. Huneman (Eds.), *Time of nature and the nature of time: Philosophical perspectives of time in natural sciences* (pp. 55-66). Springer Nature.

Liu, W., Li, X., & Li, G. (2023). The contributions of philosophy of science in science education research: A literature review. *Science & Education, 32*(1), 1-21. https://doi.org/10.1007/s11191-023-00485-w

Lomonaco, F. (2024). *Per Ernst Cassirer: Studi di filosofia e storia della filosofia*. La Scuola di Pitagora Editrice.

López, A. (2012). Pensamiento crítico en el aula. *Docencia e Investigación, 37*(22), 41-60.

Lorenzano, P. (2011). La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo XX (y lo que va del XXI). *Discusiones Filosóficas, 12*(19), 131-154. http://www.scielo.org.co/pdf/difil/v12n19/v12n19a07.pdf

Mach, E. (1883). *Die Mechanik in ihrer Entwickelung: Historisch-kritisch dargestellt*. F. A. Brockhaus. https://www.deutschestextarchiv.de/book/view/mach_mechanik_1883?p=236

Mach, E. (2018). Sobre los experimentos mentales. En J. Ornelas, A. Cíntora, & P. Hernández (Eds.), *Trabajando en el laboratorio de la mente: Naturaleza y alcance de los experimentos mentales* (J. F. Ortiz, Trad., pp. 27-33). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Mackay, C., Franco, C., & Villacís, P. (2018). El pensamiento crítico aplicado a la investigación. *Universidad y Sociedad, 10*(1), 336-342.

Marcus, G., & Cushman, D. (1996). Las etnografías como textos. En C. Geertz, J. Clifford, & otros, *El surgimiento de la antropología posmoderna* (C. Reynoso, Comp.; C. Reynoso, Trad., 3.ª ed., pp. 171-213). Gedisa.

Martín, M., & Valiña, M. (2002). Razonamiento deductivo: Una aproximación al estudio de la distinción. *Revista de Psicología General y Aplicada, 55*(2), 225-248.

Martínez, S. (2018). Historicismo, historia y filosofía de la ciencia. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, 18*(37), 179-200. https://doi.org/10.18270/rcfc.v18i37.2574

Matthews, M. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación, 3*(11-12), 141-156. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/126217.pdf

Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias, 12*(2), 255-277. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21364

Matthews, M. (2018). Structure and contents. En M. R. Matthews (Ed.), *History, philosophy and science teaching: New perspectives* (pp. x-xxiii). Springer International Publishing.

Maudlin, T. (2014). *Filosofía de la física I: El espacio y el tiempo* (V. M. Sánchez, Trad.). Fondo de Cultura Económica.

Meinecke, F. (1943). *El historicismo y su génesis* (J. M. San Martín & M. T. Muñoz, Trads.). Fondo de Cultura Económica.

Merlino, A. (2021). *Análisis de datos en investigación cualitativa*. Simionema.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2013). *Sistema colombiano de formación de educadores y lineamientos de política*. MEN.

Minkowski, H. (1908). Raum und Zeit. Conferencia pronunciada en la 80.ª reunión de científicos naturales en Colonia (Q. O. Ancka, Trad.). B. G. Teubner.

Moulines, U. (2011). *El desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia (1890-2000)*. Instituto de Investigaciones Filosóficas.

Müller, M., & Mendes, A. (2020). Advantages of studying history and philosophy of science for pre-service physics teachers. *Journal of Physics: Conference Series, 1512*(1), 012033. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1512/1/012033

Newton, I. (2013). *Principios matemáticos de filosofía natural* (G. E. Rada, Trad.). Alianza Editorial.

Niaz, M. (2012). Filosofía de la química o historia y filosofía de la ciencia como guía para comprender el desarrollo de la química. *Educación Química, 23*(3), 244-247. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30150-7

Nickles, T. (2005). ¿Cuál es la relación entre la filosofía de la ciencia y la historia de la ciencia? En S. F. Martínez & G. Guillaumin (Eds.), *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia* (L. E. Manríquez, Trad., pp. 195-224). Instituto de Investigaciones Filosóficas.

Nickles, T. (2021). Historicist theories of scientific rationality. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2021 ed.). Stanford University. https://plato.stanford.edu/entries/rationality-historicist/

Nicol, E. (1945). Historicism in physical science. *Philosophy and Phenomenological Research, 5*(3), 384-392. http://www.jstor.org/stable/2102866

Norris, C., Taylor, T., & Lummis, G. (2023). Fostering collaboration and creative thinking through extra-curricular challenges with primary and secondary students. *Thinking Skills and Creativity, 50*, 101296. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101296

Oh, J.-Y. (2022). Conceptual features of Einstein's theory of general relativity based on the philosophy of science. *Nova*. https://doi.org/10.52305/QCRK1611

Orozco, R. (2020). El razonamiento abductivo y la comprensión de la ciencia. *Phainomenon, 19*(2), 269-279. https://doi.org/10.33539/phai.v19i2.2271

Ortiz, E., & Tuay, R. (2024). El espacio-tiempo en la enseñanza de la física. *CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica, 21*(3), E8–E19. https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.3.2e.2

Ortiz, E., Adúriz-Bravo, A., & Tuay, R. (2024). La incidencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 19*(3), 564–582. https://doi.org/10.14483/23464712.21496

Ortiz, G. J. (2016). Los elementos del concepto de tiempo Aristotélico en la teoría de la relatividad [Tesis doctoral]. Barcelona, España: Universitat Abat Oliba CEU.

Ortiz, I. (2024). La importancia del pensamiento crítico en la enseñanza de la física. *Noria. Investigación Educativa, 1*(13), 81-90. https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/NoriaIE/article/view/17066/20345

Ortiz, I., & Tuay, S. (2024). El espacio-tiempo en la enseñanza de la física. *CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica, 21*(3), E8–E19. https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.3.2e.2

Ortiz, I., Adúriz-Bravo, A., & Tuay, S. (2024). La incidencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 19*(3), 564-582. https://doi.org/10.14483/23464712.21496

Patomäki, H. (2021). Scientific realism. En J. F. Morin, C. Olsson, & E. Atikcan (Eds.), *Methods in the social sciences: A–Z of key concepts* (pp. 251-253). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/hepl/9780198850298.003.0058

Peirce, C. S. (1878). Deduction, induction, and hypothesis. *The Popular Science Monthly, 13*, 470-482. https://archive.org/details/popularsciencemo13newy/page/470/mode/2up?view=theater

Peirce, C. S. (1998). *The essential Peirce: Selected philosophical writings. Vol. 2 (1893-1913)* (N. Houser, J. R. Eller, A. C. Lewis, A. De Tienne, C. L. Clark, & D. D. Bront, Eds.). Indiana University Press.

Peirce, C. S. (2012a). *Obra filosófica reunida. Tomo I (1867-1893)* (N. Houser & C. Kloesel, Eds.; D. McNabb & S. Barrena, Trads.). Fondo de Cultura Económica.

Peirce, C. S. (2012b). *Obra filosófica reunida. Tomo II (1893-1913)* (N. Houser & C. Kloesel, Eds.; D. McNabb & S. Barrena, Trads.). Fondo de Cultura Económica.

Peña, L. (2003). La idea más feliz de mi vida. En L. Peña, *Albert Einstein: Navegante solitario* (pp. 56-60). Fondo de Cultura Económica.

Pérez, T. (2009). Ciencia, conocimiento e identidad nacional. *Reencuentro, 56*, 12-16. https://reencuentro.xoc.uam.mx/index.php/reencuentro/article/view/711/711

Platón. (1872). *Timeo*. En *Obras completas de Platón* (Tomo VI, pp. 129-264). Medina y Navarro.

Plotino. (1985). Sobre la eternidad y el tiempo. En *Enéadas III-IV* (pp. 191-230). Gredos.

Poincaré, H. (1905). *Ciencia e hipótesis* (P. E. Méndez, Trad.). Edición digital para la Biblioteca Digital del ILCE. https://archive.org/details/clasicos-de-la-ciencia-henri-poincare-ciencia-e-hipo-tesis/page/n1/mode/2up

Porras, Y., Tuay, S., & Ladino, Y. (2020). Desarrollo de la habilidad argumentativa en estudiantes de educación media desde el enfoque de la naturaleza de la ciencia y la tecnología. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, (48)*, 143-161. https://doi.org/10.17227/ted.num48-11486

Prigogine, I. (2021). *El nacimiento del tiempo: ¿Cómo apareció el tiempo en el universo?* Ediciones Culturales Paidós.

Psillos, S. (1999). *Scientific realism: How science tracks truth*. Routledge. https://archive.org/details/scientificrealis0000psil/page/n3/mode/1up

Puig, M., Blanco, A., & Bargiela, I. (2023). Integrar el pensamiento crítico en la educación científica en la era de la post-verdad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 20*(3), 3301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3301

Putnam, H. (1975). What is "realism"? *Proceedings of the Aristotelian Society, 76*, 177-194. http://www.jstor.org/stable/4544887

Queijo, O. (2021). ¿Epistemológica o histórica? La historia y filosofía de la ciencia en una nueva tensión. *Epistemología e Historia de la Ciencia, 6*(1), 88-104. https://orcid.org/0000-0001-9461-8749

Queijo, O., & Passos, V. (2023). Historical epistemology: A German connection. En M. L. Condé & M. Salomon (Eds.), *Handbook for the historiography of science: Historiographies of science* (pp. xx-xx). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99498-3_13-2

Quintana, L., & Hermida, J. (2019). La hermenéutica como método de interpretación de textos en la investigación psicoanalítica. *Perspectivas en Psicología: Revista de Psicología y Ciencias Afines, 16*(2), 73-80.

Quintanilla, G. (2009). Los textos de enseñanza de las ciencias experimentales como promotores de competencias de pensamiento científico (CPC) en una nueva cultura docente. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, (1)*, 3561-3564. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/294727

Rada, E. (1980). *La polémica Leibniz-Clarke* (E. Rada, Trad.). Taurus.

Renn, J. (2004). The relativity revolution from the perspective of historical epistemology. *Isis, 95*(4), 640-648. http://www.jstor.org/stable/10.1086/430654

Reverte, N., Calero, M., & Vilches, A. (2023). Las interacciones CTSA en la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria: Evolución y perspectivas. *Indagatio Didactica, 15*(1), 1-21. https://doi.org/10.34624/id.v15i1.32237

Reynolds, A. (1999). What is historicism? *International Studies in the Philosophy of Science, 13*(3), 275-278. https://doi.org/10.1080/02698599908573626

Rheinberger, H.-J. (2010). *On historicizing epistemology: An essay* (M. Bal & H. de Vries, Eds.; D. Fernbach, Trad.). Stanford University Press.

Richard, K., Pisani, K., & Barriault, C. (2022). Evaluating changes in experimentation, critical thinking, and sense of wonder in participants of Science North's in-school outreach programs. *Frontiers in Education, 7*, 675306. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.675306

Ricoeur, P. (1995). *Tiempo y narración I: Configuración del tiempo en el relato histórico*. Siglo XXI Editores.

Ricoeur, P. (2001). *Del texto a la acción: Ensayos de hermenéutica II*. Fondo de Cultura Económica.

Ricoeur, P. (2008). *Hermenéutica y acción: De la hermenéutica del texto a la hermenéutica de la acción*. Prometeo.

Rost, M., & Knuuttila, T. (2022). Models as epistemic artifacts for scientific reasoning in science education research. *Education Sciences, 12*(4), 1-20. https://doi.org/10.3390/educsci12040276

Rovelli, C. (1999). Quantum spacetime: What do we know? En C. Callender & N. Huggett (Eds.), *Physics meets philosophy at the Planck scale* (pp. 1-21). Cambridge University Press. https://doi.org/10.48550/arXiv.gr-qc/9903045

Rovelli, C. (2018). *El orden del tiempo*. Anagrama.

Rüegger, H. (2008). Verstehen statt erklären? Zur Logik der Interpretation in den Geisteswissenschaften. *Theologische Zeitschrift, 64*(1), 49-64. https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/17042/

Ruiz, G. (2014). *El concepto leibniziano de espacio: La polémica con Clarke y el newtonianismo*. Ediciones Universidad de Navarra.

Sánchez Ron, J. (2000). *Albert Einstein*. En *Las matemáticas del siglo XX* (pp. 109-114). Editorial Espasa.

Sankey, H. (2001). Scientific realism: An elaboration and a defence. *Theoria: A Journal of Social and Political Theory, (98)*, 35-54. http://www.jstor.org/stable/41802172

Sankey, H. (2003). Scientific realism and the God's eye point of view. *Epistemologia, 27*(2), 211-226. https://philsci-archive.pitt.edu/1456/1/Eye.pdf

Sankey, H. (2015a). *Ciencia, realidad y racionalidad* (J. C. Aguirre, Trad.). Editorial Universidad del Cauca.

Sanz, D., & Sanz, D. (2006). Razonamiento inductivo, inteligencia y aprendizaje. *Huarte de San Juan. Psicología y Pedagogía, 12*, 7-19.

Schlick, M. (2016). El espacio y el tiempo en la física contemporánea: Una introducción a la teoría de la relatividad y la gravitación (1917). En T. Mormann & Á. Peláez (Eds.), *El empirismo lógico: Textos básicos* (pp. 163-231). Universidad del Rosario.

Sciortino, L. (2017). On Ian Hacking's notion of style of reasoning. *Erkenntnis, 82*(2), 243-264. https://doi.org/10.1007/s10670-016-9815-9

Silva, C. (2016). *Homo capax: Hacia una filosofía de la educación*. Editorial Aula de Humanidades.

Solbes, J. (2013a). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 10*(1), 1-10.

Solbes, J. (2013b). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 9*(1), 1-10.

Solbes, J., & Torres, M. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: Un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, 26*, 247-269.

Stachel, J. (Ed.). (2011). *Einstein 1905: Un año milagroso. Cinco artículos que cambiaron la física*. Crítica.

Stadler, F. (2011). Ernst Mach: El paradigma antimetafísico positivista. En F. Stadler, *El círculo de Viena: Empirismo lógico, ciencia, cultura y política* (M. L. Segura, Trad., pp. 107-136). Fondo de Cultura Económica.

Stein, B., Stein, H., & Galili, I. (2023). The concept of observer in science teaching in middle school: Pre-instructional knowledge as a lever for learning rather than an obstacle. *Education Sciences, 13*(1), 2-28. https://doi.org/10.3390/educsci13010095

Strauss, A. & Corbin, J. (2002). Bases de la investigación cualitativa, Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Universidad de Antioquia.

Taylor, S., & Bogdan, R. (1994). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: La búsqueda de significados* (2.ª reimp.). Paidós.

Topsakal, İ., Yalçın, S., & Çakır, Z. (2022). The effect of problem-based STEM education on the students' critical thinking tendencies and their perceptions for problem solving skills. *Science Education International, 33*(2), 136-145. https://doi.org/10.33828/sei.v33.i2.1

Torres, M. (2014). *Pensamiento crítico y cuestiones sociocientíficas: Un estudio en escenarios de formación docente* [Tesis doctoral, Universitat de València].

UNESCO. (1999). *Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico*. Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI: Un nuevo compromiso. UNESCO-ICSU. http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion_s.htm#top

UNESCO. (2024). *Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389227

University of Western Australia. (2024, noviembre 27). *The Einstein-First Project*. https://www.uwa.edu.au/projects/einsteinian-physics

Vain, P. (2012). El enfoque interpretativo en investigación educativa: Algunas consideraciones teórico-metodológicas. *Revista de Educación, 3*(4), 37-46.

Vakarou, G., Stylos, G., & Kotsis, K. (2024). Effect of didactic intervention in Einsteinian physics on students' interest in physics. *European Journal of Science and Mathematics Education, 12*(2), 200-210. https://doi.org/10.30935/scimath/14303

van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Clarendon Press.

Vásquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, (46)*, 15-37.

Viehmann, C., Fernández, C., & Reynaga, P. (2024). The use of socioscientific issues in science lessons: A scoping review. *Sustainability, 16*(14), 5827. https://doi.org/10.3390/su16145827

Vieira, R. M., Tenreiro, V. C., & Martins, I. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International, 22*(1), 43-54.

Vucetich, H. (2018). Exact philosophy of space-time. *International Journal of Modern Physics A, 33*(5), 1850013. https://doi.org/10.48550/arXiv.1109.5674

Wang, J. (2019). Realism in space-time theory. *International Journal of Advanced Research, 7*(7), 950-953. https://doi.org/10.21474/IJAR01/9450

Wei, B., & Wang, Y. (2021). The presentation of science practice in twenty historical cases. *Science & Education, 30*(2), 365-380. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00172-0

Weyl, H. (2009). *Philosophy of mathematics and natural science* (Original work published 1949). Princeton University Press.

Yacoubian, H., & Khishfe, R. (2018). Argumentation, critical thinking, nature of science and socioscientific issues: A dialogue between two researchers. *International Journal of Science Education, 40*(7), 796-807. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1449986

Zapata, P. (2015). Implicaciones didácticas de la inclusión de la historia y filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: Una interpretación histórica del electromagnetismo. En P. W. Mora (Ed.), *Educación en ciencias: Experiencias investigativas en el contexto de la didáctica, la historia, la filosofía y la cultura* (pp. 35-58). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://die.udistrital.edu.co/publicaciones/educacion_en_ciencias_experiencias_investigativas_en_contexto_didactica_historia

Anexo 1. Evaluación de Expertos

Con base a los ITEM planteados para la rúbrica de análisis, califique de 1 a 5, la pertinencia, la relevancia, la coherencia y la aplicabilidad del ítem para lograr cumplir con los objetivos de la investigación doctoral.

Tenga en cuenta que:

Pertinencia: Es adecuado y conveniente a lo que se desea medir a partir de los objetivos de la investigación. **Relevancia:** Tiene significado e importancia para medir las propuestas de los objetivos **Coherencia:** Tiene lógica, conexión y un lenguaje apropiado que permite medir los objetivos planteados. **Aplicabilidad:** El ítem es aplicable para analizar la propuesta investigativa	**1.** Totalmente en desacuerdo. **2.** En desacuerdo. **3.** Ni de acuerdo ni en desacuerdo. **4.** De acuerdo **5.** Totalmente de acuerdo.

ITEM	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

Observaciones del experto o experta:

_____

_____

_____

La rúbrica de análisis es:

Favorable: ____ Favorable con modificaciones: ____ No favorable: ____

EVALUACIÓN ETAPA I: RAZONAMIENTO INICIAL

Con base a las preguntas planteadas en la etapa I, califique de 1 a 5, la pertinencia, la relevancia, la coherencia y la aplicabilidad de las preguntas para así lograr cumplir con los objetivos de la investigación doctoral.

Tenga en cuenta que:

Pertinencia: Es adecuado y conveniente a lo que se desea medir a partir de los objetivos de la investigación. **Relevancia:** Tiene significado e importancia para medir las propuestas de los objetivos **Coherencia:** Tiene lógica, conexión y un lenguaje apropiado que permite medir los objetivos planteados. **Aplicabilidad:** El ítem es aplicable para analizar la propuesta investigativa	**1.** Totalmente en desacuerdo. **2.** En desacuerdo. **3.** Ni de acuerdo ni en desacuerdo. **4.** De acuerdo **5.** Totalmente de acuerdo.

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

Observaciones del experto o experta:

_____

_____

_____

La etapa I es:

Favorable: ____ Favorable con modificaciones: ____ No favorable: ____

EVALUACIÓN ETAPA II: CONSTRUCCIÓN

Con base a las preguntas planteadas en la etapa II y en cada una de sus actividades, califique de 1 a 5, el contexto histórico, la pertinencia, la relevancia, la coherencia y la aplicabilidad de las preguntas para así lograr cumplir con los objetivos de la investigación doctoral.

Pertinencia: Es adecuado y conveniente a lo que se desea medir a partir de los objetivos de la investigación. **Relevancia:** Tiene significado e importancia para medir las propuestas de los objetivos **Coherencia:** Tiene lógica, conexión y un lenguaje apropiado que permite medir los objetivos planteados. **Aplicabilidad:** El ítem es aplicable para analizar la propuesta investigativa	**1.** Totalmente en desacuerdo. **2.** En desacuerdo. **3.** Ni de acuerdo ni en desacuerdo. **4.** De acuerdo **5.** Totalmente de acuerdo.

Actividad 1: Contexto histórico Aristotélico

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
Contexto histórico				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Actividad 2: Experimento mental de Galileo Galilei

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
Contexto histórico				
1				
2				
3				

4				
5				

Actividad 3: Definición espacio y tiempo de Isaac Newton

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
Contexto histórico				
1				
2				
3				
4				

Actividad 4: Propuesta de Einstein

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
Contexto histórico				
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Observaciones del experto o experta:

_____

_____

_____

La etapa II es:

Favorable: ____ Favorable con modificaciones: ____ No favorable: ____

EVALUACIÓN ETAPA III: RAZONAMIENTO FINAL

Con base a las preguntas planteadas en la etapa III, califique de 1 a 5, la pertinencia, la relevancia, la coherencia y la aplicabilidad de las preguntas para así lograr cumplir con los objetivos de la investigación doctoral.

Pertinencia: Es adecuado y conveniente a los que se desea medir a partir de los objetivos de la investigación. **Relevancia:** Tiene significado e importancia para medir las propuestas de los objetivos **Coherencia:** Tiene lógica, conexión y un lenguaje apropiado que permite medir los objetivos planteados. **Aplicabilidad:** El ítem es aplicable para analizar la propuesta investigativa	**1.** Totalmente en desacuerdo. **2.** En desacuerdo. **3.** Ni de acuerdo ni en desacuerdo. **4.** De acuerdo **5.** Totalmente de acuerdo.

Pregunta	Pertinencia	Relevancia	Coherencia	Aplicabilidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Observaciones del experto o experta:

_____

_____

_____

La etapa III es:

Favorable: ____ Favorable con modificaciones: ____ No favorable: ____

Anexo 2. Encuesta Inicial

Estimado estudiante, a continuación, encontrarás una serie de preguntas relacionadas con la percepción y el razonamiento del espacio y del tiempo que tienes hasta el momento, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde tú conocimiento.

EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

1. La interpretación del espacio puede considerarse desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, el espacio exterior donde se encuentran los cuerpos celestes o un lugar donde es posible ubicar un objeto, el sitio donde se encuentra un país en un mapamundi entre otros, sin embargo ¿tú cómo podrías explicar o definir qué es el espacio?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

2. Al hablar de tiempo, este en la mayoría de los casos se intuye que hace referencia a un reloj o al clima, sin embargo ¿tú cómo explicarías o definirías qué es el tiempo?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

3. Algunas veces se percibe que el tiempo pasa más rápido o lento, por ejemplo, cuando haces una fila en un banco o vas a ingresar a algún lado, muchas veces sientes que no fluye el tiempo o diferencia que cuando haces algo que te gusta, el tiempo se te pasa muy rápido ¿Por qué crees que sucede eso? ¿Cómo puedes percibir el tiempo?

   _____
   _____
   _____
   _____

4. ¿Se podría considerar que el espacio y el tiempo están conectados o simplemente son dos entidades diferentes, los cuales no es necesaria su unión?

   _____
   _____
   _____
   _____

5. Los estudios científicos estiman que la edad del Universo es de aproximadamente 13600 millones de años, sin embargo ¿tú qué crees que es necesario para medir el paso del tiempo? ¿Tú cómo lo harías?

_____
_____
_____
_____

6. En diferentes lugares del mundo el reloj marca una hora distinta al punto de referencia de donde te encuentras, por ejemplo, el uso horario de Japón respecto a Colombia está por encima de 14 horas, es decir si son la 1:00 pm en Colombia allá serían las 3:00 am del día siguiente ¿Por qué sucede esto si estos países se encuentran en el mismo planeta?

_____
_____
_____
_____

7. Ahora, realiza un dibujo que contribuya a tú explicación de la pregunta anterior

8. Es evidente que en algunos lugares del mundo la hora es diferente respecto a otros, ahora ¿tú cómo explicarías qué es el tiempo respecto al uso horario en otros países? ¿Están en el futuro, en el pasado? ¿Tiene que ver algo el espacio?

_____
_____
_____
_____

9. En el momento que vas en un automóvil y este aumenta su velocidad, vas a llegar más rápido a donde te diriges, de igual forma sucedería si estas en una carrera atlética y corres más rápido, así mismo llegarás más pronto a la meta, ahora analiza ¿Influye la velocidad en el tiempo y en el espacio?

_____
_____
_____
_____

10. Realiza un dibujo en donde puedas explicar tu respuesta anterior

11. Un 'pequeño' agujero negro supermasivo fue detectado por el **telescopio James Webb** de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), en una galaxia distantes, se detectó **este agujero negro supermasivo activo más distante** hasta la fecha, **existió cuando el universo tenía poco más de 570 millones de años**[56]**.**
¿Cómo podrías explicar esta cantidad de tiempo **570 millones de años desde tú comprensión sobre la percepción y medición del tiempo**?

_____
_____
_____
_____

12. Un avión que cubra la ruta de Bogotá a Ámsterdam, los cuales se encuentran separados por una distancia aérea aproximadamente de 8850 km, y que viaje a una velocidad de 800 $\frac{km}{h}$, puede tardar

[56] Información e imagen extraída de: https://www.ngenespanol.com/el-espacio/james-webb-detecta-el-agujero-negro-supermasivo-mas-distante/

alrededor de 11 horas; ahora, si la luz viaja a una velocidad aproximada de $300.000\,\frac{km}{s}$, imagina que puedes estar a esta velocidad ¿qué crees que sucede con el tiempo y el espacio?

_____
_____
_____
_____

13. Las edades de las rocas son útiles porque las rocas representan eventos en la historia de la Tierra, como la edad de los fósiles o eventos geológicos importantes como meteoros y erupciones volcánicas, creamos una escala de tiempo geológico que pone todos estos eventos en perspectiva. En esta escala, los períodos, eones, épocas, etc. se colocan en capas en su orden relativo desde el más antiguo en la parte inferior hasta el más reciente en la parte superior, y también vemos cuánto tiempo absoluto abarca cada uno. Tiempo relativo, también llamado tiempo cronoestratico ('estratos' significa 'capas') y el tiempo absoluto, también llamado tiempo cronométrico ('crono' significa 'tiempo' y 'métrico' significa 'medida')[57].

Teniendo en cuenta la información anterior ¿cómo construirías una escala de tiempo y de espacio para lograr definirlos?

_____
_____
_____
_____

14. Se estima que la Tierra tiene una edad aproximada de 4500 millones de años, el universo 13800 millones de años, ¿el tiempo es igual a nivel microscópico, por ejemplo, en las bacterias, al tiempo del ser humano?

_____
_____
_____
_____

"Tenemos leyes, pero no conocemos el sistema de referencia en el que son válidas"
(Einstein & Infeld, 1986, p. 158)

[57] Tomado de: https://estudyando.com/tiempo-relativo-vs-tiempo-absoluto-en-geologia/

Anexo 3. Actividad 1: Contexto histórico aristotélico.

EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

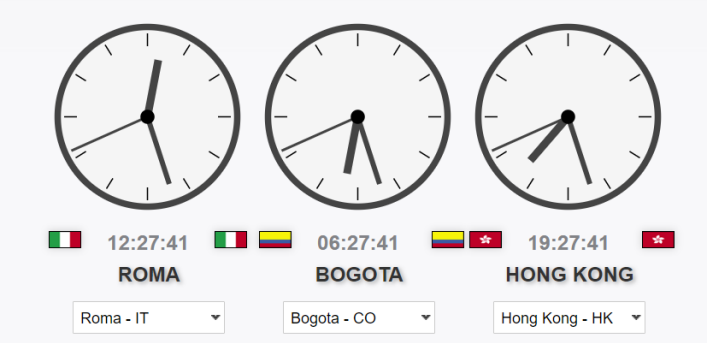
Estimado estudiante, a continuación, se mostrarán un contexto histórico y con él, una serie de preguntas, por lo tanto, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde tú conocimiento.

Teniendo en cuenta que Aristóteles fue un filósofo griego, nacido aproximadamente en el **año 384 a. c**. Él estableció sus pensamientos en varios campos, así como en las ciencias, estos pensamientos se conceptualizaron en teorías, las cuales fueron consideradas como verdades absolutas durante cientos de años.

"El mundo físico al parecer posee aspectos espaciales y temporales; por lo tanto, la existencia y la naturaleza del espacio y tiempo (o el espacio-tiempo) es un tema esencial" (Maudlin, 2014, p. 15); "la tradición intelectual que produjo la física teórica moderna comienza en la antigua Grecia. No obstante, los astrónomos babilónicos y egipcios habían compilado voluminosos y precisos datos sobre las posiciones visibles del Sol y los planetas, y además habían ideado modelos matemáticos que podían predecir fenómenos del tipo de los eclipses. Sin embargo, los filósofos griegos introdujeron una nueva línea de teorización especulativa en esa empresa observacional (p. 21)., entonces, retomando a **Aristóteles,** él consideraba que *"no podemos percibir el tiempo en sí mismo, caemos en la cuenta del paso del tiempo sólo porque percibimos el cambio o movimiento"* (van Fraassen, 1978, p. 25)

1. De acuerdo con el texto anterior ¿cómo interpretas la afirmación de Aristóteles?
   _____
   _____
   _____
   _____
2. ¿podría considerarse qué si no hubiese movimiento no habría tiempo?
   _____
   _____
   _____
   _____
3. Ahora, desde los análisis anteriores ¿Cómo podrías explicar qué es el espacio?
   _____
   _____
   _____
   _____

La siguiente imagen representa la hora en 3 ciudades diferentes un día de noviembre



Se observa que en Bogotá aun es de mañana, comenzando el día laboral y académico; en Roma ya es medio día y en Hong Kong ya es de noche.

Respecto a esto contemplarías:

4. ¿En Bogotá hasta ahora está iniciando el día, es decir que Roma y Hong Kong están en el futuro? ¿qué sucede acá con el tiempo?

   _____
   _____
   _____
   _____

5. ¿Cómo explicas el tiempo en diferentes lugares del mundo, teniendo en cuenta los razonamientos anteriores?

   _____
   _____
   _____
   _____

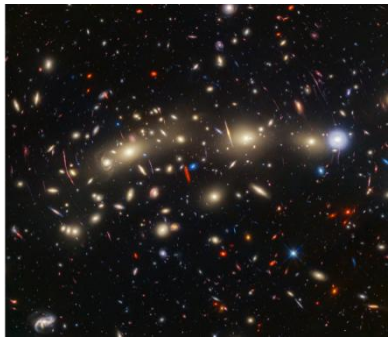
6. La Real Academia Española (RAE) define absoluto como algo independiente, entero, total, completo e incondicional y lo relativo a que guarda relación con algo o alguien, que es limitado y depende de la situación. Entonces considerando esta definición y la idea aristotélica ¿podrías explicar si el tiempo es el mismo para todos "absoluto" o es diferente "relativo"?

   _____
   _____
   _____
   _____

7. Ahora, has observado que la hora en diferentes lugares del mundo es diferente, sin embargo, hoy en día te puedes comunicar casi inmediatamente con alguien que se encuentre en otro país, así allá sea de noche o de día, respecto a donde estes, por lo tanto ¿es importante tener en cuenta un punto de referencia para poder construir un razonamiento respecto al tiempo y al espacio?

   _____
   _____
   _____
   _____

8. Esta vista pancromática del cúmulo de galaxias MACS0416 se creó combinando observaciones infrarrojas del Telescopio Espacial James Webb de la NASA con datos de luz visible del Telescopio Espacial Hubble de la NASA. MACS0416 es un cúmulo de galaxias ubicado a unos 4.300 millones de años luz de la Tierra, lo que significa que la luz que vemos ahora abandonó el cúmulo poco después de la formación de nuestro sistema solar[58].



Teniendo en cuenta la información anterior y la idea aristotélica

¿Cómo explicarías que es un año luz?

_____
_____
_____
_____

9. ¿la velocidad de la luz influye en la percepción del espacio y del tiempo?

_____
_____
_____
_____

SAGREDO: ¿pero qué naturaleza y qué magnitud debemos atribuir a la velocidad de la luz? ¿es instantáneo su desplazamiento o no? ¿no podríamos decidir esta cuestión mediante un experimento?
SIMPLICIO: las experiencias diarias muestran que la propagación de la luz es instantánea; cuando vemos disparar una bala de cañón a gran distancia, su fogonazo llega a nuestros ojos instantáneamente, mientras que el sonido lo percibimos después de un intervalo notable.
SAGREDO: Bien Simplicio, lo único que podemos inferir de esta experiencia familiar es que, para alcanzar a nuestros oídos, el sonido viaja más lentamente que la luz; esta experiencia no me informa de si la luz se propaga instantáneamente o si, siendo inmensamente rápida, emplea un tiempo muy pequeño para llegar a nuestros ojos.
SALVIATI: Lo poco concluyente de ésta y otras observaciones me ha conducido, una vez, a crear un sistema que permita decidir con precisión si la iluminación, o sea, la propagación de la luz es realmente instantánea.

(Diálogo sobre dos nuevas ciencias, Galileo Galilei (1564-1642), citado por Einstein & Infeld, 1986, p. 66

[58] Información e imagen extraída de: https://webbtelescope.org/contents/media/images/2023/146/01HDHATAQXM532HCNQN6BQ79BC

Anexo 4. Actividad 2: Experimento mental de Galileo Galilei.

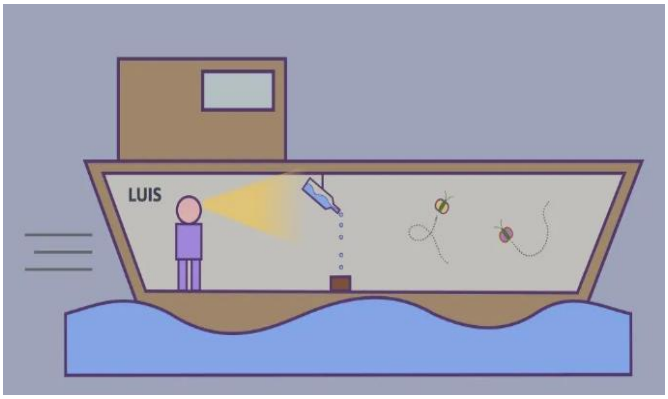
EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

A continuación, se mostrarán el segundo contexto histórico y con la una serie de preguntas, por lo tanto, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde su conocimiento

Galileo Galilei, Matemático, Astrónomo, experimentador y gran conocedor y refutador de las teorías Aristotélicas, vivió en el **siglo XVI y XVII** entre 1564 y 1642, asentó las bases de la interpretación del movimiento, las cuales fueron interpretadas por Isaac Newton para establecer las leyes de movimiento de la mecánica.

Los experimentos mentales se han desarrollado a lo largo de la historia como un método de análisis en las explicaciones de las teorías científicas (Aguilar & Romero, 2011). Estos, han permitido imaginar cualquier situación, aunque, deben estar contemplados en las condiciones de verdad para la comprensión y explicación de las teorías (Kuhn, 1985). Como lo describe Mach (citado por Kienzler, 2010) son pensamientos e ideas individuales, más o menos ordenadas y preceden a los experimentos reales de la investigación científica[59] (p. 55), puesto que las imágenes o modelos de la experimentación se encuentran primero en el desarrollo de las ideas, "experimentamos con el pensamiento" (Mach, Sobre los experimentos mentales, 2018). Tanto así que Sorensen (1992) cataloga los experimentos mentales como una subclase de experimentos reales no ejecutados que ayudan a generar un proceso en la elaboración y perfeccionamiento de la práctica experimental (Borge & Mettini, 2018, pág. 344).

Experimento mental de Galileo



"Encerraos con algún amigo en la mayor estancia que esté bajo cubierto en algún gran navío, y meted en ella moscas, mariposas y animalillos voladores parecidos. Haya también un recipiente grande de agua con pececillo dentro. Además, manténgase en alto un cubo, que gota a gota baya dejando caer el agua en otro recipiente de boca estrecha, situado debajo. Cuando la nave está quieta, observad atentamente que los animalillos volantes se mueven en todas las direcciones de la cabina con igual velocidad. Veréis que los peces nadan indistintamente hacia todos los lados. Las gotas que caen entran en la vasija situada debajo. Y al lanzar algo a un amigo, no necesitas arrojarlo con mayor fuerza en una dirección que en otra si las distancias son iguales. Y si saltáis, como suele decirse, con los pies juntos, os desplazaréis igual espacio con independencia de la dirección. Una vez hayáis observado diligentemente todas estas cosas … haced mover la nave con la velocidad que sea. Veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allá) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos mencionados y que, a partir de ellos, no podréis determinar si la nave avanza o está quieta." (Maudlin, 2014, p. 91).

1. ¿Explica por qué la importancia de determinar el movimiento para comprender el espacio y tiempo desde la perspectiva aristotélica?

[59] für Mach folgen Gedankenexperimente auf individuelle, mehr oder weniger geordnete Gedanken und Vorstellungen, und sie gehen den wirklichen Experimenten und der wissenschaftlichen Forschung voraus (Kienzler, 2010, p. 55).

_____
_____
_____
_____

2. ¿Cómo influye el experimento mental de Galileo en el planteamiento de Aristóteles: *"no podemos percibir el tiempo en sí mismo, caemos en la cuenta del paso del tiempo sólo porque percibimos el cambio o movimiento"*
_____
_____
_____
_____

3. ¿Cuál sería tu hipótesis para lograr percibir el movimiento en el experimento de mental de Galileo, si el mar se encuentra en calma?
_____
_____
_____
_____

Luego de responder las preguntas anteriores, observa el video Hipatia y Orestes prueban que la Tierra podría estar moviéndose: https://www.youtube.com/watch?v=4qJIotcgVfc&t=77s

4. Cómo explicarías la hipótesis de Hipatia para el movimiento.
_____
_____
_____
_____

5. "La posición debe ser determinada, siempre con respecto a algo […] Es decir, para poder determinar la posición de los cuerpos, debemos tener en cuenta lo que se llama sistema de referencia" (Einstein & Infeld, 1986, p. 118). Entonces, de acuerdo con tú razonamiento es necesario que ¿el espacio y el tiempo dependan de un sistema de referencia?
_____
_____
_____
_____

Einstein, uno de los científicos más influyentes del siglo XX uso este tipo de experimentos para la formulación de la Teoría General de la Relatividad (TGR). Este experimento mental, el cual denominó la idea más feliz de su vida, se basaba "si una persona cae libremente, no siente su propio peso" lo que derivo a que "los efectos (locales) de un campo gravitatorio son exactamente equivalentes a los que produce una aceleración uniforme" (Peña, 2003, p. 57) por lo que no es posible distinguir si se encuentra bajo el efecto de un campo gravitacional o con una aceleración uniforme, caída libre.

Anexo 5. Actividad 3: Definición espacio y tiempo de Isaac Newton

EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

A continuación, se mostrarán el tercer contexto histórico y con la una serie de preguntas, por lo tanto, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde su conocimiento

Isaac Newton, Físico, matemático inglés, vivió entre los **siglos XVII y XVIII** entre los años 1642 a 1727, inventor del cálculo, sus estudios contribuyeron a la óptica, a la astronomía y en especial a la Mecánica, estableciendo las leyes de la mecánica, donde interpuso su concepción acerca del espacio y del tiempo para la explicación e interpretación del movimiento.

El tiempo es absoluto, verdadero y matemático en sí y por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se llama duración... El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil. (Newton, 1987, pp. 127-128).

1. Camina lentamente lanzando una pelota de arriba hacia abajo, dile a un compañero que se encuentre en reposo que describa la trayectoria que él ve de la pelota y también tu describe la trayectoria que ves de la pelota; ahora inviertan los papeles. Dibuja cómo observas el movimiento de la pelota cuando estás en movimiento y cuando estás en reposo

2. ¿La descripción de las trayectorias cuando estaba en reposo y en movimiento son las mismas?

_____
_____
_____
_____
_____

3. Isaac Newton gran conocedor de las ideas aristotélicas y de los experimentos y razonamientos de Galileo, consideraba que tanto el tiempo como el espacio siempre serán iguales e inmóviles sin importar desde donde se vea, ¿por qué crees que Newton tenía es concepción del espacio y del tiempo, teniendo en cuenta que para esta época ya muchas ideas de Aristóteles ya habían sido bastante objetadas?

_____
_____
_____
_____
_____

4. Desde la perspectiva histórica que has podido conocer desde Aristóteles hasta Newton ¿Explica qué ha cambiado respecto a la concepción del espacio y del tiempo?

_____
_____
_____
_____
_____

"La capacidad de comprender antes de ver constituye el corazón del pensamiento científico. En la antigüedad, Anaximandro comprendió que el cielo continúa bajo nuestros pies antes de que hubiera barcos que dieran la vuelta a la Tierra. En los comienzos de la era moderna, Copérnico comprendió que la Tierra gira antes de que hubiera astronautas que la vieran girar desde la Luna. Del mismo modo, Einstein entendió que el tiempo no transcurre de manera uniforme antes de que hubiera relojes los suficientemente precisos para medir la diferencia" (Rovelli, 2018, p. 16).

Anexo 6. Actividad 4: Propuesta de Einstein.

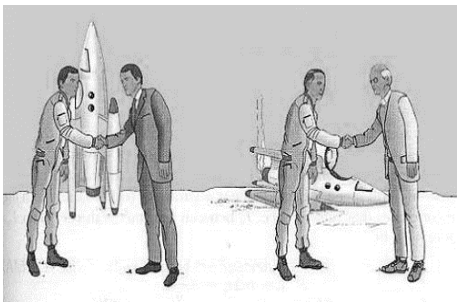
EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

A continuación, se mostrarán el cuarto contexto histórico y con la una serie de preguntas, por lo tanto, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde su conocimiento

Albert Einstein, físico alemán, vivió entre los años 1879 a 1955 **(siglos XIX y XX)**, realizó bastantes aportes a la física moderna y estableció una nueva ley de gravitación diferente a la Newtoniana, así mismo desarrolló la teoría especial de la relatividad donde considera el espacio-tiempo relativo y la velocidad de la luz como una constante y velocidad limite.

El desarrollo de la teoría electromagnética durante la segunda mitad del siglo XIX comenzó a crear problemas a una representación exclusivamente mecanicista de los fenómenos físicos. A la altura de 1850 las dificultades para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos de una forma satisfactoria persistían, hasta el punto de que «no se puede decir que existiese un acuerdo generalizado ni siquiera en cuáles deberían de ser los principios teóricos adecuados para poder desarrollar una electrodinámica… surgieron voces que reclamaban una revisión de los fundamentos de la Física clásica … Einstein señalo que: ni los fenómenos de la mecánica, ni tampoco los de la electrodinámica tienen propiedades que correspondan al concepto de reposo absoluto … la luz se propaga siempre en el espacio vacío con una velocidad definida … el concepto de «tiempo» en física sólo puede ser relativo, es decir, referido al «sistema de coordenadas» en el que se produce la localización temporal, desapareció así el tiempo absoluto (Otero, 2005).

Supongamos que en una base situada en la Tierra se encuentra una nave a punto de despegar. En la puerta de la nave se abrazan dos personas. Son dos hermanos gemelos que se despiden. Uno de ellos va a pilotar la nave, mientras que el otro esperará su retorno en la Tierra. La nave despega y se acelera moviéndose a gran velocidad durante cierto tiempo alejándose de nuestro planeta. Después invierte los motores y se frena y vuelve su camino hasta volver a la Tierra. Posa su nave en la plataforma espacial y abraza a su hermano gemelo que ha ido a recibirle**. ¿Cuál de ellos habrá envejecido más?** Desde el punto de vista del gemelo en la Tierra, los relojes de la nave, que han estado moviéndose a gran velocidad respecto de él, han debido atrasarse y el gemelo en la nave debería haber envejecido menos. Pero al gemelo en la nave le habrá parecido que la Tierra se ha movido con gran velocidad respecto a él, que los relojes aquí deben haberse retrasado y que su hermano en la Tierra es más joven que él. Es decir, ambos piensan que su otro hermano debe ser más joven (Cosmo, 2018).



1. ¿Explica cómo influye viajar a velocidades cercanas a la luz en la paradoja[60] de los gemelos?
   _____
   _____
   _____

[60] Algo contrario al sentido común o a la lógica.

_____
_____

2. Considerando toda la evolución histórica sobre el espacio y el tiempo, ahora ¿cómo lo explicarías? ¿Es posible hablar de ellos por separado o es necesario hacer la unión de estos y considerarlo como uno solo, espacio-tiempo?

_____
_____
_____
_____
_____

3. ¿Cómo influye la velocidad en la percepción del espacio-tiempo?

_____
_____
_____
_____
_____

4. ¿Explica por qué en algunos lugares del mundo es otra hora diferente, influye el movimiento rotacional y traslacional de la Tierra?

_____
_____
_____
_____
_____

5. ¿El espacio-tiempo es el mismo para todo o este depende del sistema de referencia y la velocidad de este?

_____
_____
_____
_____
_____

6. ¿Por qué crees que al pasar los siglos fue necesario ir cambiando la perspectiva del espacio-tiempo desde Aristóteles hasta Einstein?

_____
_____
_____
_____
_____

"La física nos ayuda a profundizar en las diversas capas del misterio. Nos enseña que la estructura temporal del mundo es distinta de nuestra intuición. Nos da la esperanza de poder estudiar la naturaleza del tiempo liberándonos de la niebla causada por nuestras emociones" (Rovelli, 2018, p. 148).

Anexo 7. Encuesta Final

Estimado estudiante, a continuación, encontrará una serie de preguntas relacionadas con la percepción del espacio y del tiempo luego del proceso histórico de este, solicito amablemente contestar con veracidad argumentando cada una de ellas desde su conocimiento.

EDAD: _____ GRADO: _____ GÉNERO: _____ FECHA: _____

Observa el video: La flecha del tiempo ¿Qué es el Tiempo? ¿Una Ilusión Humana o una Realidad del Universo? https://www.youtube.com/watch?v=_o0fGCb8V7M

1. Ahora, después del recorrido histórico y filosófico desarrollado anteriormente, consideras ¿qué es posible hablar de espacio y tiempo por separado?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

2. Luego de este proceso histórico y filosófico frente al espacio y el tiempo ¿Cómo explicarías qué es el espacio-tiempo? ¿Qué hipótesis planteas para explicar al espacio-tiempo?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

3. ¿Cómo influye la velocidad para la percepción del espacio-tiempo?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

4. ¿Consideras que el espacio-tiempo es absoluto o relativo?

   _____
   _____
   _____
   _____

5. ¿Consideras que el espacio-tiempo es un análisis filosófico para explicar el razonamiento del conocimiento humano?

   _____
   _____

6. ¿El espacio-tiempo es local o absoluto para todos? ¿Cómo influye esto en tú vida y en la cotidianidad?

7. De acuerdo con lo trabajado durante estas sesiones respecto al espacio-tiempo ¿Cómo explicarías cómo es la evolución del conocimiento científico?

"Estoy convencido de que el tiempo si es un objeto de ciencia. Ha de tener su lugar en la estructura de la ciencia moderna, y este lugar, a mi parecer, es fundamental, es el primero. Hay que pensar, pues, el universo como una evolución irreversible" (Prigogine, 2021, p. 25)