



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS

CAMPUS DE BAURU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

LISBETH LORENA ALVARADO-GUZMÁN

**APORTES DE LA HISTORIA, FILOSOFÍA Y SOCIOLOGÍA DE LA CIENCIA EN LA
FORMACIÓN DE FORMADORES DE PROFESORES DE FÍSICA:**

Hacia una mirada caleidoscópica desde los discursos de los formadores sobre la enseñanza de
la Óptica

Bauru

2023

Lisbeth Lorena Alvarado-Guzmán

APORTES DE LA HISTORIA, FILOSOFÍA Y SOCIOLOGÍA DE LA CIENCIA EN LA FORMACIÓN DE FORMADORES DE PROFESORES DE FÍSICA: Hacia una mirada caleidoscópica desde los discursos de los formadores sobre la enseñanza de la Óptica

Tese apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como um dos requisitos a obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência – Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Nardi

Coorientadora: Profa. Dra. Isabel Maria Coelho de Oliveira Malaquias

Bauru

2023

A472a	Alvarado-Guzmán, Lisbeth Lorena Aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia en la formación de formadores de profesores de Física : Hacia una mirada caleidoscópica desde los discursos de los formadores sobre la enseñanza de la Óptica / Lisbeth Lorena Alvarado-Guzmán. -- Bauru, 2023 340 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru Orientador: Roberto Nardi Coorientadora: Isabel Maria Coelho Malaquias 1. Formadores de professores de Ciências. 2. Visão caleidoscópica da Ciência e Tecnologia. 3. Análise de discurso. 4. Caleidoscópio Didático. 5. HFSC. I. Título.
-------	--

Lisbeth Lorena Alvarado Guzmán

**Aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia en la formación de
formadores de profesores de Física:** Hacia una mirada caleidoscópica desde los discursos de
los formadores sobre la enseñanza de la Óptica

Tese apresentada à Faculdade de Ciências da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como um
dos requisitos a obtenção do título de Doutora
em Educação para a Ciência – Área de
Concentração: Ensino de Ciências e
Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Nardi
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de
Ciências (FC), Bauru, São Paulo, Brasil - Orientador

Profa. Dra. Isabel Maria Coelho de Oliveira Malaquias
Universidade de Aveiro, Dep. Física, CIDTFF, Aveiro,
Portugal – Coorientadora

Prof. Dr. Agustín Adúriz-Bravo
Universidad de Buenos Aires CeFIEC, Instituto de
Investigaciones, Centro de Formación e Investigación en
Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y
Naturales, Buenos Aires, Argentina - Miembro Titular

Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade
de Educação, Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”,
São Paulo – Brasil – Miembro Titular

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de
Educação do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas
da UNESP, em São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil-
Miembro Titular

Profa. Dra. Olga Lucía Castiblanco
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de
Ciencias y Educación, Bogotá, Colombia. - Miembro Titular

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE LISBETH LORENA ALVARADO GUZMAN, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de fevereiro do ano de 2023, às 10:00 horas, por meio de videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de LISBETH LORENA ALVARADO GUZMAN, intitulada **Aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia en la Formación de Formadores de Profesores de Física: hacia una mirada caleidoscópica desde los discursos de los formadores sobre la enseñanza de la Óptica**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ROBERTO NARDI (Orientador - Participação Virtual) do Departamento de Educação/Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. AGUSTÍN ADÚRIZ- BRAVO (Participação Virtual) da Facultad de Ciencias Exactas y Naturales/Universidad de Buenos Aires, Profª. Drª. MARIA JOSÉ PEREIRA MONTEIRO DE ALMEIDA (Participação Virtual) do Departamento de Ensino e Práticas Culturais/Universidade Estadual de Campinas, Profª. Drª. OLGA LUCIA CASTIBLANCO ABRIL (Participação Virtual) da Faculdade de Ciências e Educação/Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Prof. Dr. LEANDRO LONDERO DA SILVA (Participação Virtual) do Departamento de Educação/Instituto de Biodiências Letras e Ciências Exatas - UNESP/São José do Rio Preto. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo Presidente da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. ROBERTO NARDI

Dedico esta tesis a todas las mujeres que luchan por un mundo más justo, equitativo y en paz, un mundo donde podamos vivir sin miedo. Aquellas mujeres que son hermanas, mamás, abuelas, tías, sobrinas, amigas y que día a día van a la lucha en contra del patriarcado tejiendo vínculos desde un profundo sentido del cuidado de la vida, a todas ellas ¡infinitas gracias!

También le dedico estas páginas al hombre con el que he vivido una Historia de Amor linda y que tuvo la valentía de transformar su vida para compartirla conmigo en muchos lugares del mundo. A él, que su mirada se siente como el cielo azul después de un fuerte aguacero, ¡gracias, mi Juan C.!

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Dr. Roberto Nardi, mi orientador, por su apoyo y orientación en este caminar. Sin su acogimiento y amistad hubiese sido muy difícil trasegar por los tiempos oscuros de nuestra América Latina. Hoy con los gobiernos de Lula y Petro esperamos que la unidad se consolide como proyecto de resistencia Latinoamericana. Es un honor ser parte del árbol académico de su vida querido profe Nardi.

Agradezco a mi coorientadora, la profa. Dra. Isabel Malaquías por las invaluables conversas y enseñanzas sobre Historia de las Ciencias. Gracias por hacer posible la experiencia en Portugal y acogerme con tal amabilidad y calidez en el invierno europeo.

Al profesor Agustín Adúriz-Bravo por sus invaluables aportes a mi tesis como evaluador. Muchas gracias por la lectura y mirada crítica a las ideas aquí contenidas. También le agradezco a él y a los colegas del CeFIEC en Argentina por acogerme virtualmente para realizar una pasantía en el año pandémico. Los diálogos y aprendizajes de esta experiencia se reflejan en algunas de las ideas contenidas en esta tesis. Muchas gracias.

A los profesores María José de Almeida y Leandro Londero da Silva por sus incalculables contribuciones a esta tesis y a mi formación. Muchas gracias también por aceptar la lectura de esta tesis en español.

A la profesora Olga Lucia Castiblanco por participar en la banca evaluadora de esta tesis y los espacios de encuentro para pensar una educación científica crítica en Colombia. Agradezco su lectura y aportes en este proceso de formación.

A la AUIP (Asociación Universitaria Iberoamericana de Posgrados), CAPES y las entidades de financiación de pesquisa en Brasil por el apoyo financiero a esta investigación.

Agradezco a los profesores, colegas y amigos del GPEC (Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências) de la UNESP en Bauru, Brasil, por acogerme y propiciar un espacio de intercambio de ideas y formación tan importante. Muchas gracias por las experiencias y enseñanzas compartidas.

Agradezco a los colegas del grupo de Ciencia, Educación y Diversidad (CEyD) en Cali, Colombia, por continuar el diálogo a la distancia y ser el primer espacio de formación en el que muchas ideas tuvieron su génesis y que, en el encuentro con otras formas de comprender la Ciencia, su enseñanza y su papel en la sociedad, se afianzaron o mutaron.

A mis colegas y amigos Edwin García y Nelson Hoyos por sacar adelante un sueño que cada uno albergó en su corazón por años: la Licenciatura en Física. Ni la burocracia o las diferencias lograron que desistiéramos. A ellos muchas gracias por lo compartido y las distintas reflexiones que nuestras interacciones siempre me dejaron.

A los profesores formadores que participaron en esta investigación y en los diálogos que dieron forma al nuevo programa de Licenciatura en Física de la Universidad del Valle en Cali, Colombia. Muchas gracias por compartir sus reflexiones y contribuir a mi formación en diferentes momentos de mi vida académica.

A mi mamá Dora Guzmán, mis hermanas Nana y Astrid, mi hermano Fabi, mis sobrinos Sara y Juan José por apoyar este sueño y estar en aquellos momentos en donde la distancia apretaba el corazón.

A mi compañero de vida, Juan Carlos, por apoyarme en este proceso y compartir conmigo su fascinación por el principio de mínima acción, así como su sorpresa al acercarse a algunos textos de primera fuente. Gracias por caminar conmigo hombro a hombro, tomados del corazón.

A mis amigos Fabiano, Augusto y Maykell por tantas experiencias compartidas, tener la paciencia para comprender mi portunhol y mostrarme algunas de sus cosas favoritas de Brasil.

A mi amiga Jessica dos Reis Belissimo por nuestras conversaciones adornianas y freireanas, siempre sinceras y empáticas. Te admiro mucho.

A mi querida Fabiana por acogerme a mi llegada a Brasil y las incontables aventuras y conversas sobre feminismo, política y amor. Gracias por acercarme a la Astronomía desde una perspectiva crítica.

A mi amiga de infancia Vivian, gracias por estar en los momentos importantes y difíciles de este proceso y compartir conmigo los suyos aun en la distancia.

A todas aquellas personas que me recibieron en Brasil y en Portugal con los que compartimos un pedacito de vida, ¡muchas gracias!

A Lula y Dilma por el apoyo a la educación que hizo posible que muchos colombianos pudiéramos hacer estudios doctorales en Brasil.

La Amistad, me parece, “se construye con un pie en lo privado y el corazón, y el otro, en lo público-político del pensar... del pensar juntas. Con todo lo que esta dimensión conlleva de valores y de responsabilidades sociales y humanas”.

Margarita Pisano.

RESUMEN

Esta investigación analiza los aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia y los discursos que movilizan los formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial. El referente analítico tuvo como punto de partida el Análisis del Discurso y los datos se consolidaron en un grupo de discusión de formadores de profesores de Física. De estos análisis se reconoce que el acercamiento de los formadores a la Historia de la Ciencia, con fines didácticos, está influenciada por la escuela epistemológica en la que se inscriben sus formaciones ideológicas. En ese sentido, es posible reconocer el potencial de la HFSC en la formación de formadores de Ciencias en la praxis que se enfoque en la relación entre cuestiones epistemológicas y didácticas. Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolla una propuesta asociada a la formación de una mirada caleidoscópica sobre la Ciencia y la tecnología para su enseñanza, que se nutre de los aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia y se caracteriza por ser dinámica, crítica, contextual y conectada a la praxis de las y los formadores de profesores de Ciencias. Aunada a esta, se propone *el caleidoscopio didáctico* como un artefacto didáctico que podría mediar en los procesos de planeación, desarrollo y evaluación del uso de la HFSC en la práctica. Así, se ilustró y analizó el proceso de constitución del caleidoscopio para la enseñanza de la óptica, con la construcción de tres narrativas a partir de la recontextualización de los siguientes episodios históricos: las líneas de Fraunhofer (1814), el catálogo estelar de Antonia Maury (1896) y el abordaje del problema de la aberración de la luz por Julio Garavito Armero (1906).

Palabras claves: Formadores de profesores de Ciencias; Mirada caleidoscópica de la Ciencia y la Tecnología; Análisis de Discurso; Calidoscopio Didáctico; Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia.

RESUMO

Esta pesquisa analisa as contribuições da História, Filosofia e Sociologia da Ciência e os discursos mobilizados pelos formadores de professores de Física sobre o ensino da óptica na formação inicial. A referência analítica foi baseada na Análise do Discurso e os dados foram consolidados em um grupo de discussão de formadores de professores de Física. A partir destas análises reconhece-se que a abordagem dos formadores à História da Ciência, para fins didáticos, é influenciada pela escola epistemológica na qual suas formações ideológicas estão inscritas. Neste sentido, é possível reconhecer o potencial do HFSC na formação de formadores na práxis que se concentra na relação entre as questões epistemológicas e didáticas. Levando em consideração o acima exposto, é desenvolvida uma proposta associada à formação de uma visão caleidoscópica da Ciência e Tecnologia para seu ensino, que se baseia nas contribuições da História, Filosofia e Sociologia da Ciência e se caracteriza por ser dinâmica, crítica, contextual e conectada com a práxis dos formadores de professores de ciências. Além disso, o caleidoscópio didático é proposto como um artefato didático que poderia mediar os processos de planejamento, desenvolvimento e avaliação do uso do HFSC na prática. Assim, o processo de constituição do caleidoscópio para o ensino da Óptica foi ilustrado e analisado, com a construção de três narrativas baseadas na recontextualização dos seguintes episódios históricos: as linhas de Fraunhofer (1814), o catálogo estelar de Antônia Maury (1896) e a abordagem de Julio Garavito Armero ao problema da aberração da luz (1906).

Palavras-chave: Formadores de professores de Ciências; Visão caleidoscópica da Ciência e Tecnologia; Análise do discurso; Caleidoscópio Didático; História, Filosofia e Sociologia da Ciência.

ABSTRACT

This research analyzes the contributions of History, Philosophy and Sociology of Science and the discourses mobilized by Physics teacher educators on the teaching of Optics in initial training. The analytical referent had Discourse Analysis as a starting point and the data were consolidated in a focus group of Physics teacher educators. From these analyses, it is recognized that the approach of the educators to the History of Science, for didactic purposes, is influenced by the epistemological school in which their ideological formations are inscribed. In this sense, it is possible to recognize the potential of the HFSC in the formation of educators of science in praxis that focuses on the relationship between epistemological and didactic issues. Considering this, a proposal is developed associated with the formation of a kaleidoscopic view of science and technology for its teaching, which is nourished by the contributions of History, Philosophy and Sociology of Science and is characterized by being dynamic, critical, contextual, and connected to the praxis of science teacher educators. In addition, the didactic kaleidoscope is proposed as a didactic artifact that could mediate in the processes of planning, development, and evaluation of the use of the HFSC in practice. Thus, the process of constitution of the kaleidoscope for the teaching of optics was illustrated and analyzed, with the construction of three narratives from the recontextualization of the following historical episodes: Fraunhofer's lines (1814), Antonia Maury's stellar catalog (1896) and the approach to the problem of aberration of light by Julio Garavito Armero (1906).

Keywords: Science Teacher Educators; Kaleidoscopic view of science and technology; Discourse Analysis; Didactic Kaleidoscope; History, Philosophy and Sociology of Science.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONTEXTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	29
FIGURA 2 – MAPA DE LA UBICACIÓN POR REGIONES DE LOS PROGRAMAS DE FORMACIÓN DE PROFESORES DE FÍSICA EN COLOMBIA HASTA EL 2018	30
FIGURA 3 – RELACIÓN ENTRE LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES Y LOS CICLOS DE EDUCACIÓN EN COLOMBIA	32
FIGURA 4 – DIAGRAMA DE FLUJO BÚSQUEDA COMBINACIÓN Y DERIVACIÓN ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	40
FIGURA 5 – DIAGRAMA DE FLUJO BÚSQUEDA, COMBINACIÓN Y DERIVACIÓN COMUNICACIONES DE EVENTOS	41
FIGURA 6 – DISTRIBUCIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN LOS ÚLTIMOS 20 AÑOS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES ..	43
FIGURA 7 – MAPA CON LOS PAÍSES DONDE SE DESARROLLAN LAS INVESTIGACIONES ANALIZADAS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES	44
FIGURA 8 – DISTRIBUCIÓN DE LOS IDIOMAS DE LOS ARTÍCULOS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES	45
FIGURA 9 - TIPOS DE ARTÍCULOS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES	45
FIGURA 10 – DISTRIBUCIÓN DE ARTÍCULOS DE ACUERDO CON LA CANTIDAD Y TIPO DE TÉCNICAS USADAS EN LA INVESTIGACIÓN.....	46
FIGURA 11 – MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES	46
FIGURA 12 – DISTRIBUCIÓN DE LOS ARTÍCULOS ANALIZADOS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES POR CATEGORÍAS.....	47
FIGURA 13 – DISTRIBUCIÓN DE ARTÍCULOS ANALIZADOS POR AÑO Y CATEGORÍA.....	48

FFIGURA 14 – DISTRIBUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES POR AÑO Y EVENTO	67
FFIGURA 15 – DISTRIBUCIÓN DE COMUNICACIONES EN EVENTOS POR IDIOMA Y PAÍSES	67
FIGURA 16 – DISTRIBUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES EN EVENTOS POR DISCIPLINAS DEL FORMADOR/ DE INVESTIGACIÓN.....	68
FIGURA 17 – DISTRIBUCIÓN DE COMUNICACIONES EN EVENTOS SEGÚN LOS SUJETOS QUE PARTICIPAN EN LA INVESTIGACIÓN	69
FIGURA 18 – DISTRIBUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES EN EVENTOS POR TÉCNICAS DE CONSTITUCIÓN DE DATOS	70
FIGURA 19 – METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DE COMUNICACIONES EN EVENTOS SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES	71
FIGURA 20 – DISTRIBUCIÓN DE COMUNICACIONES EN EVENTOS POR CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	73
FIGURA 21 – MODELOS SOBRE LAS RELACIONES CIENCIA Y TECNOLOGÍA....	121
FIGURA 22 - CRÍTICAS Y PROPUESTAS DE LA EPISTEMOLOGÍA FEMINISTA Y LOS ESTUDIOS DE GÉNERO EN LA CIENCIA	124
FIGURA 23 – EL ESQUEMA MUESTRA LOS TEMAS TRATADOS EN EL SITIO «LUZ Y VISIÓN» EN UNA RED CONCEPTUAL QUE REPRESENTA EL PANORAMA COMPLETO DE LA FÍSICA Y LA RADIACIÓN.....	144
FIGURA 24 – PRINCIPALES REGLAMENTACIONES PARA LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES EN UNIVERSIDADES DE COLOMBIA	176
FIGURA 25 – PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS PARTICIPANTES DEL ESTUDIO	178
FIGURA 26 - DISTRIBUCIÓN DE LOS FORMADORES E INVESTIGADORA EN LA MESA DE DIÁLOGO	179
FIGURA 27 – RED DE INSTITUCIONES Y RELACIONES ENTRE LOS FORMADORES Y LA ENTREVISTADORA QUE PARTICIPAN DEL GRUPO DE DISCUSIÓN. ...	180

FIGURA 28 - ALGUNOS CIENTÍFICOS QUE APORTARON A LOS ASPECTOS DE LA LUZ	223
FIGURA 29 – REPRESENTACIÓN CALEIDOSCOPIO DIDÁCTICO	231
FIGURA 30 – ELEMENTOS A CONSIDERAR EN LA ESCRITURA DE UN CASO HISTÓRICO (NARRATIVA).....	233
FIGURA 31 – CALEIDOSCOPIO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA	236
FIGURA 32 - REPRESENTACIÓN MONTAJE EXPERIMENTAL DE FRAUNHOFER. EXPERIMENTO DE LAS SEIS LÁMPARAS	246
FIGURA 33 – EL ESPECTRO DE LA LUZ SOLAR DIBUJADO POR FRAUNHOFER	247
FIGURA 34 – RELACIONES ENTRE LAS INSTITUCIONES Y LOS ASTRÓNOMOS EN LA RED DE JULIO GARAVITO	277

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 – PROGRAMAS DE FORMACIÓN DE PROFESORES DE FÍSICA EN COLOMBIA Y SUS RESPECTIVOS CAMBIOS DE DENOMINACIÓN HASTA EL PRIMER SEMESTRE DEL 2020	31
CUADRO 2 – MATRIZ DE REVISIÓN SISTEMATIZADA. FACETAR	37
CUADRO 3 – PALABRAS CLAVES EN LOS TRES IDIOMAS ELEGIDOS DE ACUERDO CON LA BÚSQUEDA EN LOS TESAUROS	38
CUADRO 4 – FUENTES PARA LA REVISIÓN SISTEMATIZADA. COMUNICACIONES EN EVENTOS.....	38
CUADRO 5 – CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN PARA LOS ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES ORALES ANALIZADAS.....	40
CUADRO 6 – CATEGORÍAS DE LA REVISIÓN SISTEMATIZADA SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS, TOMADAS Y AJUSTADAS DE VAILLANT (2002)	42
CUADRO 7 – LÍNEAS TEMÁTICAS DE CUATRO EVENTOS DEL ÁREA DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN IBEROAMÉRICA	82
CUADRO 8 – INVENTARIO PARCIAL DE LAS DIMENSIONES DE LA FIABILIDAD EN LA CIENCIA.....	112
CUADRO 9 – FORMAS EN QUE LA HC PUEDE BENEFICIAR A LOS PROFESORES	114
CUADRO 10 – SÍNTESIS DE BENEFICIOS DE LA HC EN LA FORMACIÓN DE PROFESORES Y EC	117
CUADRO 11 – ALGUNOS CONCEPTOS DEL ANÁLISIS DEL DISCURSO.....	152
CUADRO 12 – TIPOLOGÍA DE DISCURSOS	153
CUADRO 13 – ELEMENTOS DEL AD PARA LA LECTURA DE TEXTOS DIDÁCTICOS, DE DIVULGACIÓN Y CIENTÍFICOS.....	159
CUADRO 14 – FORMACIÓN EN POSGRADO Y LOS INTERESES Y/O LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LOS FORMADORES DE PROFESORES DE FÍSICA.....	181

CUADRO 15 – PLANEACIÓN DE LA NARRATIVA “LA TÉCNICA PARA ACERCARNOS A LAS ESTRELLAS: LAS LÍNEAS DE FRAUNHOFER Y LA PRODUCCIÓN DE LENTES ACROMÁTICAS” POR DIMENSIONES DE LA CIENCIA INTEGRAL	237
CUADRO 16 - RECURSOS.....	253
CUADRO 17 – PLANEACIÓN DE LA NARRATIVA “DE LOS LENTOS CAMBIOS EN EL CIELO A LOS NECESARIOS EN LA SOCIEDAD: CONTRIBUCIONES DE LAS MUJERES EN LA CATALOGACIÓN ESTELAR” DE ACUERDO A LAS DIMENSIONES DE LA CIENCIA INTEGRAL	254
CUADRO 18 – CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE SECCHI.....	261
CUADRO 19 - RECURSOS.....	269
CUADRO 20 – PLANEACIÓN DE LA NARRATIVA “PENSANDO GLOBALMENTE, ACTUANDO LOCALMENTE: TEORIZACIONES DE JULIO GARAVITO- ARMERO SOBRE EL PROBLEMA DE LA ABERRACIÓN DE LA LUZ EN COLOMBIA” DE ACUERDO CON LAS DIMENSIONES DE LA CIENCIA INTEGRAL.....	271
CUADRO 21 - RECURSOS.....	285
CUADRO 22 – PROBLEMAS Y POSIBLES SOLUCIONES PARA TRABAJAR CON NARRATIVAS	291
CUADRO 23 – INSTRUMENTO PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE NARRATIVAS HISTÓRICAS.....	291

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 – RESULTADOS ARTÍCULOS RECUPERADOS EN LAS BASES DE DATOS	39
TABLA 2 – COMUNICACIONES COMPLETAS RECUPERADAS EN LOS SITES Y REPOSITORIOS DE LOS EVENTOS	39
TABLA 3 – DISTRIBUCIÓN DE COMUNICACIONES EN EVENTOS POR DÉCADA..	42

LISTA DE APÉNDICES

APÉNDICE A – MODELO PARA ANÁLISIS Y REVISIÓN CRÍTICA DEL BANCO DE DOCUMENTOS DE LA REVISIÓN SISTEMATIZADA SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES.....	324
APÉNDICE B – LISTADO DE LOS ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE LOS FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS ANALIZADOS EN LA REVISIÓN SISTEMATIZADA	325
APÉNDICE C – LISTADO DE LAS COMUNICACIONES EN EVENTOS SOBRE LOS FORMADORES DE PROFESORES DE CIENCIAS ANALIZADOS EN LA REVISIÓN SISTEMATIZADA	328
APÉNDICE D – TRANSCRIPCIÓN DEL DIÁLOGO ENTRE FORMADORES- GRUPO DE DISCUSIÓN.....	340

LISTA DE ABREVIATURAS

AD: Análisis del Discurso

CTSA: Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente

EC: Enseñanza de las Ciencias

EJA: Educação de Jovens e Adultos; Educación de jóvenes y adultos

FIPC: Formación inicial de profesores de Ciencias

HCC: Historia Cultural de la Ciencia

HFSC: Historia, Filosofía y Sociología de las Ciencias

HG: Historia Global de la Ciencia

MEN: Ministerio de Educación Nacional de Colombia

NdeC: Naturaleza de la Ciencia

NOS: Nature of Science; Naturaleza de la Ciencia

NdeC&T: Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología

NFC: Nueva Filosofía de la Ciencia

PCK: Pedagogical Content Knowledge- Conocimiento Pedagógico de Contenido

RS: Revisión sistematizada

INDICE

1 INTRODUCCIÓN	26
2 CARACTERIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.1 Contexto de la problemática de investigación: la reforma de los programas de formación de profesores de Colombia en el 2018.....	29
2.2 El proceso de construcción de un programa de formación inicial de profesores de Física en el Suroccidente Colombiano	33
2.3 Una revisión sistematizada sobre las investigaciones que tienen como sujeto de investigación al formador de profesores de Ciencias	34
<i>2.3.1 Desarrollo de la pregunta de investigación de la revisión sistematizada.....</i>	<i>35</i>
<i>2.3.2 El método de la revisión sistematizada sobre el formador de profesores de Ciencias Naturales.</i>	<i>36</i>
2.3.2.1 Búsqueda	37
2.3.2.2 Fuentes.....	38
2.3.2.3 Ecuaciones de búsqueda	39
2.3.2.4 Evaluación y criterios de inclusión y exclusión	39
2.3.2.5 Síntesis y Análisis.....	42
<i>2.3.3 Características de las investigaciones publicadas en artículos durante el periodo (2000-2021)</i>	<i>43</i>
<i>2.3.4 Análisis de los artículos de acuerdo con los objetivos de investigación.....</i>	<i>47</i>
<i>2.3.5 Características de las comunicaciones en eventos (2000-2021).....</i>	<i>66</i>
<i>2.3.6 Limitaciones de la revisión sistematizada desarrollada sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales.....</i>	<i>71</i>
<i>2.3.7 Análisis de las comunicaciones orales de acuerdo con los objetivos de investigación.....</i>	<i>72</i>
2.3.7.1 Revisiones de artículos, tesis y disertaciones	73
2.3.7.2 Las concepciones, percepciones, trayectorias, características y saberes de los formadores de profesores de Ciencias.	73
2.3.7.3 La práctica del formador de profesores de Ciencias Naturales.	77
2.3.7.4 Reflexión sobre/en la práctica	79

2.3.7.5 Modelos y metodologías para la formación de formadores de profesores de Ciencias Naturales.	79
2.3.8 Algunos caminos que aún podemos trillar en la investigación sobre formadores de profesores de Ciencias	81
2.4 Planteamiento del problema de investigación.....	84
2.4.1 Preguntas de investigación.....	88
3 HISTORIA, FILOSOFÍA Y SOCIOLOGÍA DE LAS CIENCIAS EN LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE FÍSICA. PROBLEMAS Y NUEVAS PROPUESTAS DE ABORDAJE	90
3.1 Algunos problemas en la formación de formadores de Ciencias: el reto de formar profesores de Ciencias en y sobre Ciencias	90
3.2 Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias desde una perspectiva sociocultural	92
3.2.1 Historia global e historia cultural – aterrizando la humanización de la Ciencia. .	99
3.2.2.1 Naturaleza de la Ciencia desde la perspectiva de la Ciencia integral o “Whole Science”.....	109
3.2.2.2 La naturaleza de la ciencia en Iberoamérica.....	118
3.2.1 La naturaleza de la tecnología, una cuestión en deuda en la formación de profesores de Ciencias Naturales.....	120
3.2.2 Algunos aportes de las epistemologías feministas a la formación de profesores de Física.	123
3.2.2.1 Los estudios de género en la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la formación de profesoras y profesores de Ciencias.	128
3.2.2.2 La perspectiva de género, la HC y la Naturaleza de la Ciencia en la formación de profesores.....	132
3.2.3 De las relaciones centro-periferia a las redes de circulación y apropiación de la ciencia. 133	
3.3 Aportes de la Historia de la Óptica a la Enseñanza de las Ciencias y la Formación inicial de profesores	134
3.3.1 Algunas investigaciones sobre enseñanza de la óptica en diferentes niveles educativos.	136

3.3.2	<i>Aportes de la Historia de la Óptica a la Formación de profesores de Física.</i>	141
4	EL DISCURSO DE LOS FORMADORES DE PROFESORES DE FÍSICA: POSIBLES RELACIONES ENTRE LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y EL ANÁLISIS DEL DISCURSO	148
4.1	Algunos elementos del Análisis del Discurso (AD)	148
4.1.1	<i>Las condiciones de producción de los discursos.....</i>	<i>150</i>
4.1.2	<i>Interdiscursividad e intertextualidad.....</i>	<i>150</i>
4.1.3	<i>La paráfrasis y polisemia en las relaciones de sentido de los discursos.</i>	<i>151</i>
4.2	Explicitando desde donde se interpreta el discurso: dispositivo de análisis e interpretación	153
4.2.1	<i>Recontextualización de saberes usando Análisis del Discurso.....</i>	<i>154</i>
4.2.1.1	<i>Los textos originales desde el análisis del Discurso.</i>	<i>157</i>
4.2.2	<i>Dispositivo para el análisis de los discursos de los formadores sobre la Enseñanza de la Óptica y Naturaleza de la Luz.</i>	<i>159</i>
5	EL DIÁLOGO ENTRE LOS FORMADORES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA EN LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE CIENCIAS.....	162
5.1	Condiciones sociohistóricas de la formación de profesores de Física en Colombia. Una mirada histórica desde los programas de formación de profesores de Física	162
5.1.1	<i>La educación colombiana desde el siglo XX hasta nuestros días: la pieza clave olvidada para la paz.....</i>	<i>162</i>
5.1.1.1	<i>Los programas de formación de profesores de Física en Colombia: entre la tradición pedagógica y las reformas del MEN.</i>	<i>171</i>
5.1.2	<i>Condiciones de producción estrictas: La conformación de un grupo de discusión de formadores sobre la enseñanza de la Óptica.</i>	<i>177</i>
5.1.3	<i>Condiciones de producción – La red académica de los formadores de profesores de Ciencias Naturales.....</i>	<i>179</i>
5.1.4	<i>Condiciones de producción de los análisis- LAG.</i>	<i>183</i>
5.2	¿Cómo nos formaron en Óptica? Reconociendo las condiciones sociohistóricas en cada historia de vida académica	184

5.2.1 Las formaciones imaginarias de NH sobre enseñanza de la Óptica - fue tan poca Física.	185
5.2.2 Las formaciones imaginarias de GGP sobre Óptica: ¿el término Óptica recoge el tema de la naturaleza de la luz?	188
5.2.3 Las formaciones imaginarias de LCA: La episteme de la óptica era de una naturaleza diferente a esta episteme de la mecánica.	190
5.2.4 Las formaciones imaginarias de EGA: La episteme de la óptica era de una naturaleza diferente a esta episteme de la mecánica.	192
5.3 El papel de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia en la Enseñanza de la óptica para la Formación inicial de profesores	194
5.3.1 No hablemos más de contenidos en la formación de profesores de Física.	194
5.3.2 La Historia de las Ciencias en la formación inicial de profesores de Física.	200
5.3.3 El problema de la verdad: posturas epistemológicas de los formadores de profesores de Física.	213
5.3.4 El proyecto educativo común-la organización institucional.	217
5.3.5 La naturaleza de la luz vs la óptica. Aspectos de la luz y sus interacciones con la materia.	219
5.4 Síntesis del ad de los discursos de los formadores sobre la Enseñanza de la Óptica en la Formación inicial de profesores de Ciencias	220
6 HACIA LA FORMACIÓN DE UNA MIRADA CALEIDOSCOPICA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA PARA SU ENSEÑANZA	224
6.1 Desarrollando una mirada caleidoscópica de la Ciencia y la tecnología para su enseñanza.....	224
6.1.1 La mirada caleidoscópica se nutre de los aportes de la HFSC.	226
6.2 El caleidoscopio didáctico para formadores de profesores de Física.....	229
6.2.1 La elección de episodios históricos.	231
6.2.2 La construcción de narrativas y la mirada caleidoscópica- El dispositivo analítico para la recontextualización de los textos originales	233
6.3 El caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la Óptica en la Formación inicial de profesores de Física.....	235

6.3.1 I caso: Producción de lentes acromáticas y líneas de Fraunhofer. Un caso ejemplar de las relaciones Ciencia y Tecnología.....	236
6.3.2 II caso: Antonia Maury y la construcción del catálogo estelar.	253
6.3.3 III caso: Pensando globalmente, actuando localmente: teorizaciones de Julio Garavito- Armero sobre el problema de la aberración de la luz en Colombia.	270
6.4 La formación de la mirada caleidoscópica de una formadora novel: reflexionando sobre la experiencia	285
6.5 Dispositivo para evaluar las narrativas del caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la Óptica en la Formación inicial de profesores de Física	290
7 CONSIDERACIONES FINALES.....	293
7.1 Límites y posibles continuidades de la investigación.....	296
REFERENCIAS	299
APÉNDICES	324

1 INTRODUCCIÓN

Múltiples investigaciones en el campo de la formación de profesores de Ciencias han mostrado la relevancia de conocer las prácticas y los conocimientos que las y los formadores de profesores de Ciencias despliegan en su ejercicio docente. Sin embargo, estas investigaciones aún son escasas en Latinoamérica (VAILLANT, 2013) y usualmente se desarrollan considerando lo que ellos “dicen”, por tanto, pocas logran investigar las complejas dinámicas en el aula de educación superior.

En esa misma vía, la línea de formación e investigación en Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia ha brindado importantes aportes a la formación inicial y continua de profesores, desarrollando propuestas con foco en el aula de clase y cuestionando los supuestos que subyacen a nuestras formas de ver y enseñar Ciencia. Sin embargo, algunas investigaciones muestran que introducir la HFSC en el aula ha sido una tarea difícil. Esto se extiende a la formación inicial de profesores, en donde usualmente se enseñan aspectos de la HFSC en disciplinas aisladas, cuando se tienen. Además, algunas investigaciones como la de Karakas¹ (2009 apud DONOHUE; BUCK; AKERSON, 2020) muestra que los formadores de profesores de Ciencias difícilmente explicitan los aspectos de naturaleza de la Ciencia que pretenden estudiar con sus estudiantes, por lo cual los aspectos de la HFSC que se llevan al aula de formación inicial y continua muchas veces quedan implícitos.

Por tanto, en esta investigación nos preguntamos *¿Cuáles son los principales aportes de la HFSC para los formadores de profesores de Física y qué discursos movilizan sobre la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Física?* y en consecuencia, objetivamos constituir una propuesta para la formación de formadores de profesores de Ciencias que considere los discursos de los formadores de profesores de Física y las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la Óptica. Así, esta investigación versa sobre los aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia a los formadores de profesores de Física que se relacionan con los procesos de formación y co-formación de formadores de profesores de Ciencias, teniendo como contexto generador, la creación de un programa de formación inicial de profesores de Física de una universidad pública en Colombia.

La formación de formadores de profesores de Ciencias en América Latina se desarrolla en diferentes ámbitos: especializaciones, maestrías, doctorados y procesos de formación

¹ KARAKAS, M. Cases of science professors’ use of nature of science. **Journal of Science Education and Technology**, 18(2), 101-119, 2009.

continua, por lo cual podría ser relevante, tal como menciona Vaillant y Marcelo (2001), avanzar en procesos de formación epistemológica (ADÚRIZ-BRAVO, 2018), didáctica, tecnológica, entre otras, que promuevan la constitución de comunidades de desarrollo profesional (GARCÍA MARTÍNEZ, 2009) para transformar las prácticas educativas. Esto podría tener un efecto expansivo sobre los procesos de formación inicial de profesores de Ciencias y en la educación científica en diferentes niveles educativos.

La tesis se desarrolla en seis capítulos y en cada uno de ellos se presentan tanto los antecedentes como la justificación que consolida el problema presentado en el primer capítulo, por tanto, a lo largo del documento se encontrarán diferentes antecedentes y desarrollos teóricos que se articulan en el capítulo cinco, titulado *Hacia la formación de una mirada caleidoscópica de la Ciencia y la tecnología para su enseñanza*.

En el capítulo “*Caracterización de la investigación*” el foco es aquello que se conoce sobre los formadores de profesores de Ciencias Naturales. Para esto se desarrolló una revisión sistematizada sobre los formadores de profesores de Ciencias Naturales con 32 artículos de investigación y 88 comunicaciones completas publicadas en los *Proceedings* de tres eventos en Iberoamérica. Posteriormente, en el planteamiento del problema, se delimitan los aspectos problemáticos de la práctica y saberes de los formadores de profesores asociadas a la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia. Para finalizar, se presentan los objetivos y las preguntas de investigación.

En el capítulo dos: “*Historia, Filosofía y Sociología de las Ciencias en la formación inicial de profesores de Física: problemas y nuevas propuestas de abordaje*” exploramos algunos problemas en la formación de formadores de Ciencias asociados a la HFSC y recogemos algunas ideas importantes que vienen configurándose en el campo de la HFSC en la EC desde perspectivas sociocultural y sociopolítica, después estudiamos algunas propuestas que vinculan elementos de la HFSC para la enseñanza de la óptica. .

Por otra parte, en el capítulo “*El discurso de los formadores de profesores de Física: posibles relaciones entre la perspectiva sociocultural de la enseñanza de las Ciencias y el análisis del discurso*” teorizamos algunas posibles relaciones entre el Análisis del Discurso y la perspectiva sociocultural en la Enseñanza de las Ciencias, para, posteriormente en el capítulo cuatro titulado “*El diálogo entre los formadores de profesores de Física*”, analizar los discursos de cinco formadores de una universidad pública en Colombia que participaron en un grupo de discusión.

Considerando el diálogo entre los formadores y nuestro propio diálogo con la investigación en los capítulos anteriores, se buscó consolidar una propuesta que bien podría considerarse en la formación de formadores y profesores de Ciencias Naturales. En ella proponemos considerar la formación de una mirada caleidoscópica sobre la Ciencia y la tecnología para su enseñanza, a través de un artefacto didáctico para la praxis de los formadores de profesores de Ciencias Naturales llamado Caleidoscopio didáctico. Con este dispositivo se escogen, analizan, construyen y/o transforman narrativas y/o episodios históricos, en un proceso de recontextualización de saberes, que podrían contribuir en la explicitación y reflexión sobre los elementos de la HFSC que se llevan al aula y que, a su vez, contribuyen a la formación de esta mirada crítica, dinámica y flexible. Así mismo, se analiza el proceso de consolidación del caleidoscopio didáctico a través de la producción de tres narrativas históricas, como una ilustración ejemplar que puede ser considerada en la Enseñanza de la Óptica, pues presenta una recontextualización de los episodios históricos de Joseph Von Fraunhofer y los experimentos para estabilizar las líneas espectrales, Antonia Maury y su clasificación estelar a través de la espectrografía, y por último, Julio Garavito Armero y el análisis del fenómeno de aberración estelar, que fue ampliamente discutido por la comunidad científica como parte de aquellos fenómenos que no encajan en una teoría.

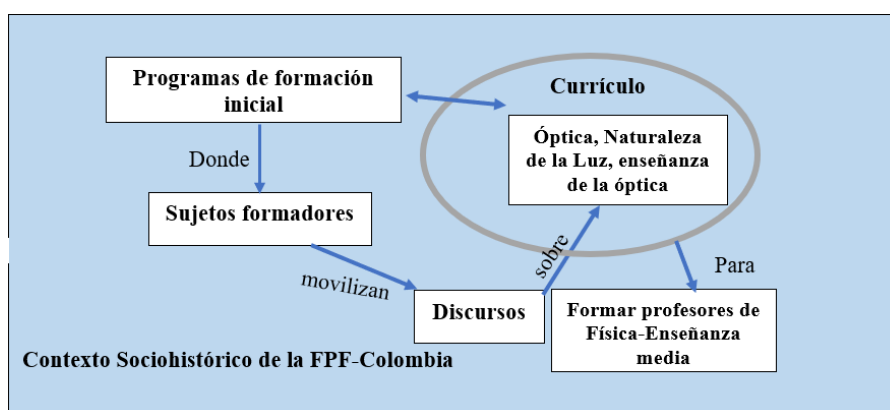
Para finalizar, consideramos que la formación de formadores es un campo fértil y poco explorado en el que podemos avanzar para la transformación de las prácticas educativas desde procesos comunitarios, que nos implican el encuentro y la construcción colectiva.

2 CARACTERIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación que a continuación se presenta, se construyó alrededor del problema recogido en la pregunta: ¿Cuáles son los principales aportes de la HFSC para los formadores de profesores de Física y los discursos que ellos movilizan sobre la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Física?

El contexto generador de este cuestionamiento está en Colombia, en los procesos de formación inicial de profesores de Física que tienen lugar en programas de cuatro años, brindados por universidades y centros universitarios que tienen como foco la educación media (10° y 11°) y, en menor medida, la educación básica secundaria (6° a 9°). A continuación, se presenta en la Figura 1, un esquema que muestra el contexto en el que se enmarca la construcción del problema de investigación.

Figura 1 – Contexto de la construcción del problema de investigación



Fuente: Elaboración propia.

Para ello, en este capítulo caracterizamos la investigación a través de: a) el contexto generador de la problemática de investigación abordada, b) una revisión sistemática sobre las investigaciones que tienen como sujeto de estudio al formador de profesores de Ciencias y c) la construcción del problema de investigación.

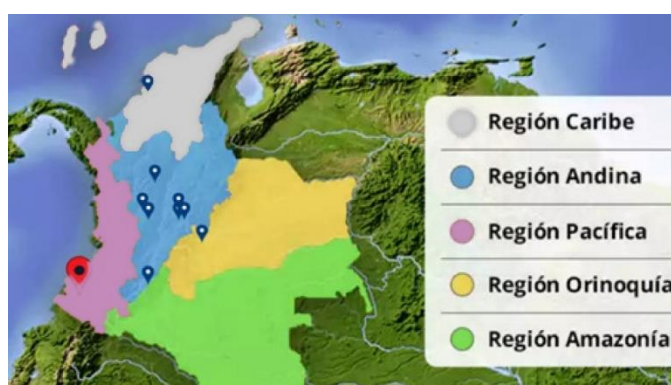
2.1 Contexto de la problemática de investigación: La reforma de los programas de formación de profesores de Colombia en el 2018

La formación inicial de profesores de Física en Colombia se ha desarrollado principalmente en las Universidades públicas. Hasta antes del 2018 existían diez programas universitarios que respondían a dos denominaciones diferentes: Licenciatura en Física y

Licenciatura en Matemáticas y Física. La primera formaba el 39% de los profesores de Física y su tasa de vinculación laboral era en promedio 86,35%.

Para visualizar mejor la distribución de los programas de formación de profesores de Física en la geografía colombiana, se presenta en la Figura 2 un mapa donde se señala con azul la ubicación de nueve programas y en rojo el programa de Licenciatura en Matemáticas y Física que pasó a ser Licenciatura en Matemáticas y que dio lugar a la construcción del nuevo programa de Licenciatura en Física, proceso en el que se desarrolla esta investigación.

Figura 2 – Mapa de la ubicación por regiones de los programas de formación de profesores de Física en Colombia hasta el 2018



Fuente: Tomado y adaptado <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/regiones/> tomado y adaptado.

El mapa permite apreciar cómo la mayoría de los programas están ubicados en la Región Andina de Colombia, con tres programas de Licenciatura en Física en Bogotá, dos en Universidades públicas y una en una Universidad privada. Esto se alinea con los resultados del Censo nacional del 2018², en el que se evidencia que el 77,1% de las personas en Colombia se concentra en las cabeceras municipales, particularmente en la Región Andina. Así mismo, las regiones de Orinoquía y Amazonas tienen departamentos con el mayor porcentaje de población en edades jóvenes (Entre 15 y 29 años). Esto, plantea el reto de la formación de profesores de Física en Colombia: ¿Es posible cubrir la demanda de profesionales en enseñanza de la Física en todas las regiones?

En el año 2017 el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN), en el gobierno de Juan Manuel Santos y en el marco de negociaciones para el ingreso de Colombia a la

² Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos>. Acceso en: 18 jun. 2021.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)³, expidió la resolución 18583 en la que ajustaba las características de los programas de formación de profesores en el país. En ella, se reglamentó entre otras cosas, la denominación de los programas académicos que forman profesores llamados Licenciaturas. Esto es:

Los programas de Licenciatura deben obedecer a alguna de las siguientes denominaciones, que corresponden a las áreas obligatorias y fundamentales del conocimiento, de que tratan los artículos 23 y 31 de la Ley 115 de 1994, o al grupo etario o poblacional respecto del cual va dirigido el proceso formativo: [...] Licenciatura en Física - Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (COLOMBIA, 2017, p. 4).

Este cambio en la denominación de los programas de formación homogeneizó y obligó a modificar los programas que tenían doble disciplina, así como reglamentó lo que el Ministerio de Educación Nacional denomina Área Obligatoria y Fundamental. A continuación, en el Cuadro 1, se relacionan los programas de formación de profesores en Física activos en Colombia hasta el 2020.

Cuadro 1– Programas de formación de profesores de Física en Colombia y sus respectivos cambios de denominación hasta el primer semestre del 2020

INSTITUCIÓN	PROGRAMA ACADÉMICO	UBICACIÓN (CIUDAD)	SECTOR (O/P)	MODIFICACIÓN
Universidad Pedagógica Nacional	Licenciatura en Física	Bogotá	Oficial	No
Universidad Distrital de Colombia	Licenciatura en Física	Bogotá	Oficial	No
Universidad de los Andes	Licenciatura en Física	Bogotá	Privada	No
Universidad de Sucre	Licenciatura en Física	Sucre	Oficial	No
Universidad de Antioquia	Licenciatura en Matemáticas y Física	Medellín	Oficial	Licenciatura en Matemáticas Licenciatura en Física
Universidad del Valle	Licenciatura en Matemáticas y Física	Cali	Oficial	Licenciatura en Matemáticas

Fuente: Construida con la información obtenida de:

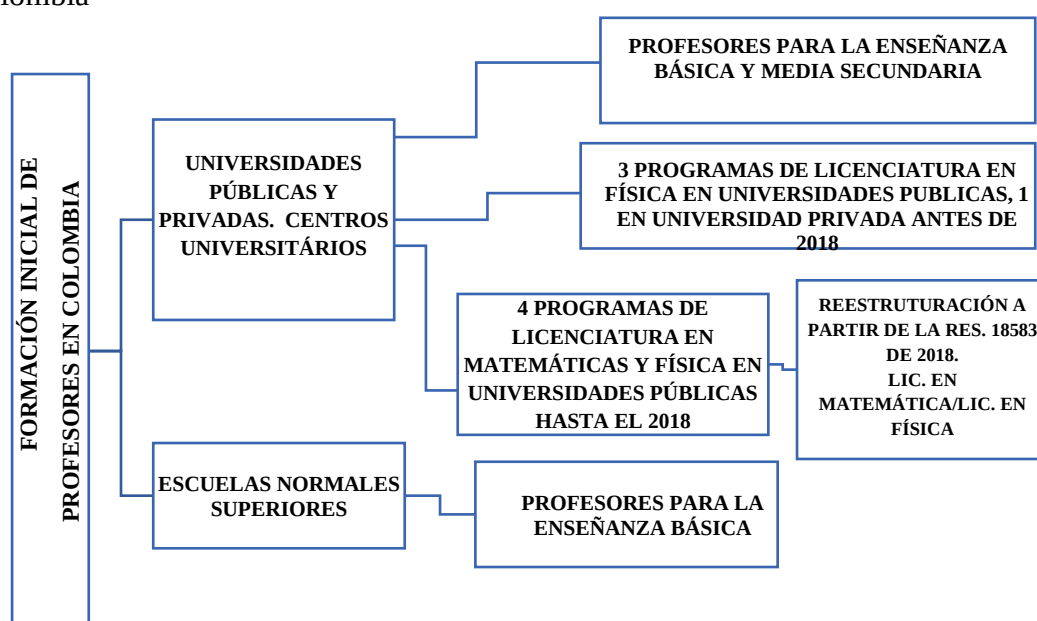
<https://hecaa.mineducacion.gov.co/consultaspublicas/programas>

Como se evidencia en el Cuadro 1, de los programas para la formación inicial de profesores de Física en Colombia, cuatro no sufrieron modificaciones en su denominación que era “Licenciatura en Física” antes del decreto 18.583 del 2018. Los programas de Licenciatura en Matemática y Física que existían en Medellín y Cali sufrieron modificaciones y optaron por una reforma bajo la denominación de “Licenciatura en Matemática”, que, en el primer caso, también dio lugar a un nuevo programa llamado “Licenciatura en Física”. En Cali, este proceso demoró un poco más. A continuación, se presenta en la Figura 3 un esquema sobre los

³ <https://www.oecd.org/newsroom/la-ocde-global-da-la-bienvenida-a-colombia-como-su-37o-miembro.htm>

programas de formación de profesores en Colombia y sus cambios a partir de la Res. 18583 del 2018. Es importante tener en cuenta que el sistema educativo colombiano tiene cinco ciclos establecidos por el Ministerio de Educación Nacional⁴ que son: educación inicial, educación preescolar, educación básica (primaria cinco grados y secundaria cuatro grados), educación media (dos grados y culmina con el título de bachiller) y la educación superior. Así, si un estudiante ingresa a la educación preescolar a los cinco años, pasará a la educación básica con 6 años y terminará el ciclo a los 15 años. Al final, culmina el proceso con el ciclo de la educación media que comprende estudiantes entre 15 y 17 años.

Figura 3 – Relación entre la formación inicial de profesores y los ciclos de educación en Colombia



Fuente: Elaboración propia.

Esta breve descripción de los cambios en los programas de formación de profesores de Física en el país encierra una serie de cuestionamientos sobre cobertura, acceso a la formación y, sobre todo, reflexiones para develar qué dirige las decisiones ministeriales en Educación superior para imprimir cambios en las denominaciones que obligan al cierre de programas o reestructuraciones que pueden estar en contravía de las demandas sociales. Esto es: ¿A qué se debe la necesidad de homogeneizar la denominación de los programas, entre otros cambios que el decreto introduce?

En un informe publicado por la OCDE en el año 2016, titulado “Educación en Colombia” se sugiere que:

⁴ Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/Preescolar-basica-y-media/Sistema-de-educacion-basica-y-media/233839:Sistema-educativo-colombiano>. Acceso en: 20 jul. 2022.

Colombia no tiene definidas normas nacionales claras que estipulen las capacidades y conocimientos con los que deberían contar los profesores y directivos docentes. Las universidades cuentan con autonomía para definir sus propios programas de formación docente.

En Colombia, la falta de un componente práctico en los programas de formación docente inicial es una gran preocupación, [...] Aumentar el enfoque práctico de las Licenciaturas en Colombia será importante para que los profesores estén preparados para facilitar el aprendizaje de los estudiantes en salones numerosos (OCDE, 2016, p. 157).

Como se evidencia, estos mandatos de la OCDE poco tienen en cuenta las necesidades de formación y las particularidades de cada zona. Una de las características de los programas de Licenciatura en Matemáticas y Física era la posibilidad de enseñar y trabajar en dos áreas, lo que ampliaba la oferta laboral y permitía suplir la necesidad de profesores de matemáticas y Física en zonas apartadas de los centros urbanos donde se ubican las Universidades públicas.

2.2 El proceso de construcción de un programa de formación inicial de profesores de Física en el suroccidente colombiano

En el segundo semestre del 2017 se inició el proceso de construcción de un programa de formación inicial de profesores de Física en el suroccidente colombiano que buscaba suplir la demanda de profesionales en esta área para la Región Pacífica. Se iniciaron una serie de encuentros con un grupo base de formadores pertenecientes al área de Educación en Ciencias de una universidad pública en el Valle del Cauca- Colombia. Este proceso se desarrolló durante 3 años y medio y en el 2021 el Ministerio de Educación Nacional de Colombia bajo la resolución No. 1340, otorgó el registro calificado para el inicio del programa.

Durante los cuatro años, la autora de esta tesis participó en este grupo base y contribuyó en el proceso de creación del modelo de formación local de profesores de Física y en el diseño curricular del programa. Así, una de las constantes en esta etapa fue el diálogo con formadores de diferentes unidades académicas en la búsqueda de ampliar la mirada sobre las necesidades, comprensiones sobre el rol del profesor de Física en el contexto colombiano, saberes y prácticas necesarias para desarrollar el modelo de formación, entre otras.

Algunos de los interrogantes que emergieron en estos encuentros hacen referencia a: ¿Cómo esta diversidad de formaciones, perspectivas y miradas contribuyen a un perfil profesional que atienda las necesidades de formación de profesores de Física en Colombia y particularmente en la Región Pacífica? Y una de corte práctico ¿Cómo establecer puentes entre los formadores y sus prácticas que apunten al perfil de formación de profesores de Física que se pretende?

Es claro que existe una distinción entre posicionarse como profesor universitario que enseña en un programa de formación de profesores y otra considerarse un formador de profesores. En este sentido, el siguiente apartado busca contribuir en la delimitación de lo que es un formador de profesores de Ciencias, sus dilemas, prácticas, discursos y concepciones.

2.3 Una revisión sistematizada sobre las investigaciones que tienen como sujeto de investigación al formador de profesores de Ciencias

En este apartado se desarrolló una revisión sistematizada sobre las investigaciones que tienen como sujeto de estudio al formador de profesores de Ciencias Naturales.

Las investigaciones de tipo revisión sistemática que corresponden a un nivel secundario (BEDENLIER *et al.*, 2020), procuran una revisión de la investigación existente y “utilizan métodos de investigación rigurosos, explícitos y responsables” (GOUGH *et al.*, 2012, p. 4 apud BEDENLIER *et al.* 2020, p. 127). Esto es lo que lo diferencia de las revisiones de literatura, pues es necesario explicitar una pregunta de investigación que guía la revisión sistematizada.

Retomando la definición de Bedenlier *et al.* (2020), sobre revisión sistemática:

¿Qué se entiende aquí por “revisiones sistemáticas en el sentido metodológico más estricto”? A diferencia de las revisiones bibliográficas tradicionales o narrativas, que son criticadas por ser sesgadas y arbitrarias, el objetivo de una revisión sistemática es realizar una revisión rigurosa y transparente en cada paso del proceso de revisión, para que sea reproducible y actualizable. “En lugar de examinar cualquier estudio de forma aislada, tenemos que examinar el conjunto de las pruebas” (NORDENBO, 2009, p. 22) para demostrar de forma sistemática que los resultados de la investigación primaria existente contienen argumentos para conformar e informar la práctica y las políticas (BEDENLIER *et al.*, 2020, p. VI, traducción propia)⁵.

Sin embargo, existe una diferencia entre revisiones sistemáticas y revisiones sistematizadas. Según Codina (2018, p. 12), la primera se desarrolla en los ámbitos de las Ciencias de la Salud y Biomedicina en la que se busca tomar decisiones basadas en la evidencia y determinar la eficacia de tratamientos, por lo que se privilegian artículos con investigaciones de corte cuantitativo. Las revisiones sistematizadas, por su parte, se desarrollan en las Ciencias humanas y sociales en la búsqueda de tendencias y corrientes del área de conocimiento. De este

⁵ What is meant here by “systematic reviews in the narrower methodological sense”? In contrast to traditional or narrative literature reviews, that are criticised as being biased and arbitrary, the aim of a systematic review is to carry out a review that is rigorous and transparent in each step of the review process, to make it reproducible and updateable. “Rather than looking at any study in isolation, we need to look at the body of evidence” (Nordenbo 2009, p. 22) to show systematically that existing primary research results contain arguments to shape and inform practice and policies.

modo, ambas comparten los procesos de búsqueda y evaluación, no obstante, suelen tener diferencias en los procesos de análisis y síntesis.

Aunado a lo anterior, el propósito de esta revisión que es informar sobre la investigación desarrollada en lo que respecta a formadores de profesores de Ciencias Naturales, vinculada a elementos de la práctica que resaltan su papel y sus necesidades, se justifica el desarrollo de esta revisión sistematizada, pues como menciona Vaillant (2002, p. 5) citando a Messina (1999):

um ponto escassamente explorado no campo da pesquisa sobre formação docente é o conhecimento pedagógico dos próprios formadores. Tal carência caminha de mãos dadas com a ausência de políticas sobre formação de formadores e com a própria tendência destes a entender o problema da formação com “algo” externo a si mesmos e referentes às “condutas de entrada” dos estudantes candidatos a professor, às condições institucionais, às deficiências do currículo do curso de formação e à falta de recursos.

Por tanto, se espera aportar en la demarcación de los principales tópicos de las investigaciones sobre formadores de profesores de Ciencias y posibles líneas de trabajo que requieren ser pensadas desde la investigación educativa.

2.3.1 Desarrollo de la pregunta de investigación de la revisión sistematizada

Múltiples investigaciones en el campo de la educación en Ciencias Naturales han puesto de manifiesto la importancia de una adecuada formación inicial y continuada de profesores para la mejora de la enseñanza de las Ciencias en todos los niveles educativos. Después de consolidar algunos acuerdos sobre lo que es importante en la formación inicial, así como las dificultades, problemas y posibles caminos en la formación continuada, prestando atención a los procesos y concepciones que las y los maestros construyen en su formación inicial, algunas investigaciones se han preguntado por las personas que desarrollan estos procesos de formación, es decir, los formadores de profesores de Ciencias Naturales.

Aunque ha sido foco de estudio, existen pocos trabajos que abordan las prácticas, el desarrollo profesional, los dilemas, las dificultades y/o concepciones de este grupo. En Latinoamérica es particularmente sentida esta necesidad (VAILLANT, 2002) que ha venido avanzando en los últimos años, como se mostrará más adelante.

Por tanto, algunas preguntas que se proponen son: ¿Qué caracteriza a un formador de profesores de Ciencias Naturales? ¿Cuáles son sus prácticas? ¿Cuáles son sus saberes y/o conocimiento profesional? ¿Qué concepciones tienen sobre la enseñanza, el aprendizaje, la Ciencia, la investigación, entre otras? ¿Cómo influyen las políticas, los contextos y las

instituciones en la consolidación de la identidad como formadores de profesores de Ciencias? La profesora Vaillant en su estudio titulado *Formación de formadores. Estado de la práctica*, publicado hace veinte años, abordó algunos de estos cuestionamientos y profundizó en el papel del formador como figura clave en el desempeño profesional de los docentes en América Latina y el Caribe (VAILLANT, 2002, p. 5). En el estudio documental, en el que también se llevaron a cabo algunas entrevistas, se abordó la formación de formadores a través de cuatro apartados: a) políticas y estrategias adoptadas para la formación de formadores, b) aportes teóricos y metodológicos que fundamentan la formación de formadores, c) Investigaciones sobre perfil y competencias y, por último, d) estudios de caso sobre actualización de los formadores. Sin embargo, este estudio no recoge ninguna área en particular. Es decir, vincula profesores de Matemáticas, Ciencias sociales, Ciencias Naturales, etc. Por lo cual se hace necesario para esta tesis un estudio que tenga como foco los formadores de profesores de Ciencias Naturales. Por esta razón, el propósito de la revisión sistematizada actual se alinea al interés de mapear las investigaciones que tienen como foco a los formadores de profesores de Ciencias Naturales, desde sus saberes, prácticas, problemas, dilemas, tensiones, políticas para formación, metodologías y estrategias de formación, etc., tanto en el ámbito internacional como brasileiro. Este estudio es relevante para esta investigación, pues reconoce la complejidad de definir al formador de profesores de acuerdo con los contextos sociopolíticos donde se desarrolla su práctica. Como también, identifica la problematización motivada por la ausencia de políticas que tengan como objetivo explícito realizar procesos de formación en este grupo. Anexo, la complejidad a la que se enfrenta la investigación al conceptualizar al sujeto que forma a profesores, debido a la multiplicidad de actuaciones y vínculos con los diferentes niveles educativos e instituciones.

2.3.2 El método de la revisión sistematizada sobre el formador de profesores de Ciencias Naturales.

En esta revisión se utilizó el modelo ReSiste-SHC (Revisiones Sistemáticas en Ciencias Sociales y Humanas) con el Framework SALSA (Search- Búsqueda, Appraisal-Evaluación, Synthesis-Síntesis and Analysis-Análisis) citado por Codina (2018) y tomado de Grant y Booth, (2009) que en el proceso de síntesis tiene en cuenta la naturaleza cualitativa de los datos que se trabajan en las investigaciones analizadas.

Para desarrollar la búsqueda de los trabajos se plantearon las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son las características de las investigaciones en términos de tipo, países, idiomas, temas de investigación, métodos y técnicas usadas?

- 2) ¿Cuáles son los principales hallazgos, aportes teóricos y metodológicos de la investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales?
- 3) ¿Qué aspectos relacionados a los formadores de profesores de Ciencias Naturales aún requieren ser investigados?

2.3.2.1 Búsqueda

En esta fase se establecieron algunas guías para realizar la búsqueda en forma de preguntas. Estas son: a) ¿Dónde busco la información? b) ¿Cuántas y cuáles bases de datos se deben considerar? c) ¿Cómo desarrollar la búsqueda en las bases de datos? ¿Cuántos documentos se deben considerar? ¿Cuál es el alcance de la RS-FPCN en el tiempo y geográficamente?

Desde el Framework Resiste-SHC se ha establecido un sub-framework para esta primera fase que auxilia en la respuesta a estas preguntas y consiste en tres fases: Facetar, Derivar y Combinar (FDC), donde cada uno de estos subprocesos se podrá reiterar de acuerdo con la necesidad y evaluación del investigador. De acuerdo con la sub-fase de facetar, se establece la siguiente matriz en la Tabla 2 que guía la elección de palabras claves y corresponden a aquellos términos de los tesauros de ERIC y UNESCO recogidos en la Tabla 3. Se consultaron términos en inglés, portugués y español atendiendo a los criterios anteriormente establecidos.

La pluralidad de expresiones en español para referirse al formador de profesores va al encuentro de lo mencionado por Vaillant (2002). En este sentido, se excluyó el término “docente universitario”, pues generaba un espectro mayor de datos que apuntaba a otros ámbitos y procesos en programas distintos a los de la formación de profesores de Ciencias Naturales.

Cuadro 2– Matriz de revisión sistematizada. Facetar

Faceta	Descripción
Objeto de estudio	Formadores de profesores de Ciencias Naturales.
Tipo de documento	Artículo de investigación, comunicaciones completas de eventos nacionales e internacionales
Idioma	Inglés, Español, Portugués
Contexto	Brasil, Colombia, Latinoamérica, Internacionales
Tiempo	2000-2021
Marco teórico	Diversos
Marco metodológico	Diversos

Instrumentos de recolección de datos	Diversos
--------------------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3– Palabras claves en los tres idiomas elegidos de acuerdo con la búsqueda en los tesauros

Idioma	Palabras claves
Portugués	Formadores de professores de Ciências Naturais
Inglés	Science Teacher Educators
Español	Formadores de profesores de Ciencias Naturales, Docentes formadores, Formadores de docentes.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.2 Fuentes

Para la búsqueda de los artículos de investigación se tuvieron en cuenta las bases de datos **SCOPUS**, **Scielo** y **Redalyc** que concentran la mayor cantidad de investigaciones académicas para la enseñanza de las Ciencias y la Educación en Ciencias, además, las dos últimas recogen trabajos en español y portugués. Se estableció un periodo de tiempo entre los años 2000 y 2021.

Por otro lado, teniendo en cuenta la tradición de publicar en *proceedings* y libros de actas de eventos en el área de Enseñanza de las Ciencias y que algunos de estos trabajos son reportes de proyectos de investigación y avances de tesis de doctorado, entre otras, se eligió desarrollar la revisión de trabajos completos en los eventos que se presentan en el Cuadro 4 y en el mismo periodo de tiempo escogido para las bases de datos (20 años).

Estos eventos tienen una tradición en la comunidad académica y de investigadores en Enseñanza de las Ciencias, particularmente en Latinoamérica, que es el contexto amplio en el que se desarrolla esta investigación.

Cuadro 4– Fuentes para la revisión sistematizada. Comunicaciones en Eventos

Evento	País	Periodicidad	Enlace
Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências (ENPEC)	Brasil	Bienal	http://abrapecnet.org.br/wordpress/pt/atas-dos-enpecs/
Congreso Internacional de Formación de profesores de Ciencias Naturales	Colombia	Bienal	https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/issue/archive/3
Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias	España/Portugal	Cuatrienal	https://congresoenseciencias.org/ https://ensciencias.uab.es/

Revista Enseñanza de las Ciencias			
-----------------------------------	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.3 Ecuaciones de búsqueda

Las ecuaciones de búsqueda son muy importantes a la hora de combinar las palabras claves. En las sub-fase de combinar, se usaron operadores booleanos para la exploración en las bases de datos. Se utilizaron tres operadores claves: or/ and/ not y se procuró encontrar las palabras claves en el título y resumen. A continuación, en la Tabla 1 se muestran los documentos encontrados en cada una de las bases de datos con las ecuaciones de búsqueda y en la Tabla 2, las comunicaciones completas recuperadas en los sites y repositorios de los eventos mencionados.

Tabla 1– Resultados artículos recuperados en las bases de datos

Base de datos	Ecuación de búsqueda	N° de artículos recuperados
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (“ <i>science Teacher educator</i> ”) AND NOT TITLE-ABS-KEY (“ <i>pre-service teacher</i> ” OR “ <i>preservice</i> ”) AND NOT TITLE-ABS-KEY (“ <i>mathematics</i> ”))	109
SCIELO	(“formadores de profesores” OR “formadores de docentes” OR “formadores de professores” OR “formadores de formadores”) AND (“Ciencias” OR “ciências”)	16
REDALYC	“formador de profesores de Ciencias” OR “formador de docentes de Ciencias” OR “formador de professores de Ciências”	34
Total		159

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2– Comunicaciones completas recuperadas en los sites y repositorios de los eventos

Evento	N° artículos recuperados
Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências (ENPEC)	76
Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencia Revista Enseñanza de las Ciencias	41
Congreso Internacional de Formación de profesores de Ciencias Naturales	13
Total	130

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.4 Evaluación y criterios de inclusión y exclusión

Después de utilizar los buscadores en las bases de datos y en los repositorios de los eventos, se establecieron los siguientes criterios de exclusión e inclusión: (Véase Cuadro 5).

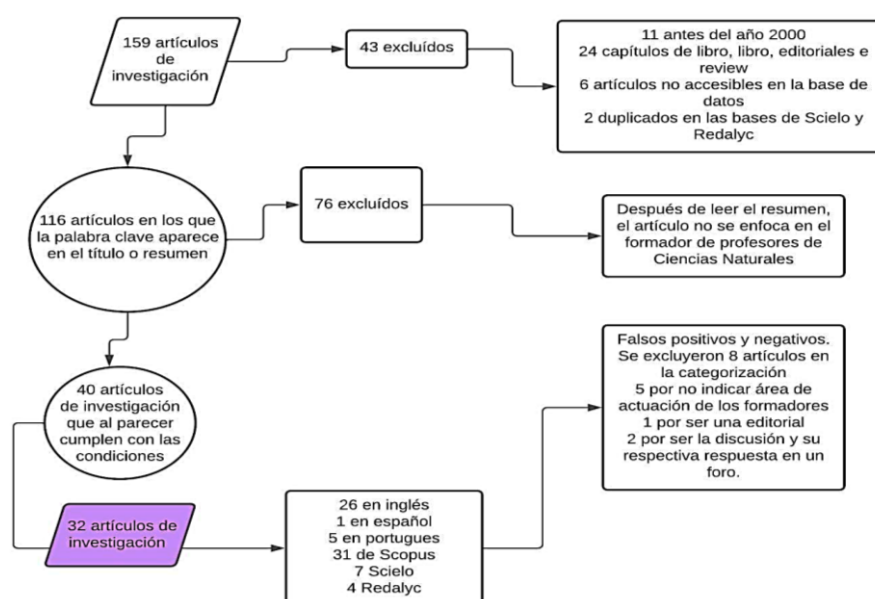
Cuadro 5– Criterios de inclusión y exclusión para los artículos y comunicaciones orales analizadas

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
- La palabra clave está en el título, enlistada en las palabras clave o en el resumen. - Se considera que en la lectura del resumen sí existen indicios de que el trabajo gira en torno a los formadores de profesores de Ciencias Naturales. - Es un artículo de investigación o una comunicación completa. - El artículo tiene libre acceso en la base de datos consultada. - La comunicación completa está disponible en el site o repositorio del evento.	- Es un capítulo de libro o un libro. - La palabra clave aparece como término secundario y/o posible continuación de la investigación, sin que sea la población de estudio principal. - El artículo fue publicado antes del 2000. - El artículo no tiene libre acceso en la base de datos consultada. - El artículo está en un idioma diferente a inglés, español o portugués.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta un esquema en la Figura 4, que evidencia los resultados obtenidos en la fase de búsqueda para los artículos de investigación hallados en las bases de datos.

Figura 4– Diagrama de flujo búsqueda combinación y derivación artículos de investigación

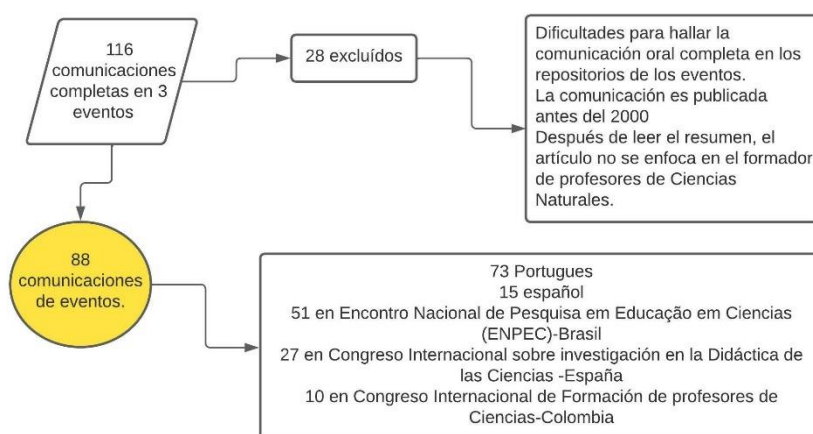


Fuente: Tomado y adaptado de Bedenlier *et al.* (2020). Creado en Lucidchart.

Como se evidencia en el diagrama, en total se obtuvieron 32 artículos de investigación que corresponden al 20.12%. Es importante resaltar que es posible que existan lo que Codina (2018) llama los falsos positivos y los falsos negativos. En el primer caso, son documentos recuperados no relevantes y en el segundo, son documentos relevantes no recuperados. Así, para el primer caso, el ejercicio de adentrarse en el resumen después de pasar el primer filtro, “encontrar la palabra clave en el título”, hizo que descartaran cuatro documentos. En el segundo caso, se espera que el criterio de elección de las bases de datos, donde se encuentran la mayoría de las revistas del área de Educación en Ciencias, cumpla con el criterio de exhaustividad. Sin embargo, una dificultad actual tiene que ver con la restricción de libre acceso a los documentos y con que haya artículos por los cuales deba pagarse, principalmente en Scopus.

Para las comunicaciones orales en eventos, el foco fueron tres eventos en Iberoamérica. Por tanto, las comunicaciones orales estaban en español o portugués. Es importante mencionar que se escogen estos eventos porque usualmente se presentan las investigaciones de maestría y doctorado que se están desarrollando en el campo. A continuación, en la Figura 5 se presenta el Diagrama de flujo para las comunicaciones completas de eventos.

Figura 5 – Diagrama de flujo búsqueda, combinación y derivación comunicaciones de eventos



Fuente: Tomado y adaptado de Bedenlier *et al.* (2020). Creado en Lucidchart.

De acuerdo con el diagrama anterior, las comunicaciones en eventos analizadas corresponden a un 75,86% del total encontrado. Teniendo en cuenta este volumen de textos, se presenta la Tabla 4 en la que se organizan por evento y década. De la tabla se puede inferir una tendencia al alza, pues entre las décadas del 2000 y del 2010 casi se duplica la producción. Así como en el 2021, ya se cuenta con casi la tercera parte de la anterior década. En la misma vía, el evento en el que se encontró un mayor número de publicaciones sobre formadores de

profesores de Ciencias es el ENPEC, lo que evidencia la importancia de este evento y la amplia producción brasilera sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales.

Tabla 3– Distribución de comunicaciones en eventos por década

Década	ENPEC	CIDCN	CIFP	Total
2000-2010	13	10	3*	26
2010-2020	36	7	2*	45
2021	2*	10	5*	17
Total	51	27	10	88

Fuente: Elaboración propia.

Los artículos con (*) fueron filtrados por aparecer la palabra en el título debido a que la página de los repositorios no presentó opción de consultar por palabras claves y título.

2.3.2.5 Síntesis y Análisis

Estas dos fases se desarrollan conjuntamente y proponen un ejercicio creativo y analítico del investigador. Así, para el análisis se desarrolló una ficha (Apéndice 1) que recoge los principales elementos del estudio y que fue adaptada de la propuesta de Codina (2018) que retoma el trabajo de Bloomberg y Volpe (2016).

La organización de los resultados de estas fases es la siguiente: 1) síntesis de los resultados que describen los $n_{art}=32$ y $n_{C,E}=88$ y responde a la pregunta ¿Cuáles son las características de las investigaciones en términos de tipo, países, idiomas, temas de investigación, métodos y técnicas usadas? 2) Después de describir los datos, se clasificaron los artículos y comunicaciones de eventos en tres categorías a priori que se construyeron y ajustaron teniendo como base la investigación de Vaillant (2002): a) Políticas de formación para formadores; b) Metodologías de formación de formadores, c) características, saberes, competencias y/o concepciones de los formadores; y dos categorías emergentes: d) Prácticas de los formadores y e) Prácticas reflexivas y/o Praxis. En el Cuadro 6 se presenta la descripción de las cinco (5) categorías usadas en la revisión sistematizada y aplicadas tanto a los artículos de investigación como a las comunicaciones en eventos.

Cuadro 6– Categorías de la revisión sistematizada sobre formadores de profesores de Ciencias, tomadas y ajustadas de Vaillant (2002)

Sigla	Nombre de la categoría	Descripción
P	Políticas de formación de formadores	Investigaciones que tienen como propósito evidenciar el impacto de políticas al interior de las Universidades, países, etc. para la formación de formadores.

M	Metodologías de formación de formadores	Investigaciones que tienen como objetivo describir, proponer metodologías, modelos asociados a los procesos de formación de formadores.
SC	Características, saberes, competencias, y/o concepciones de los formadores	Investigaciones que tienen como propósito conocer los saberes, competencias, percepciones, concepciones, problemas, y opiniones de los formadores de profesores
PR	Prácticas de los formadores de profesores de CN	Investigaciones que tienen como propósito determinar la práctica de los formadores de profesores. Se caracteriza por una observación directa de su práctica en el aula o actividades asociadas a la práctica como planeación y evaluación.
Práxis	Prácticas reflexivas y/o Praxis	Investigaciones a manera de reflexiones que los propios formadores desarrollan a partir de sus prácticas y que incluyen también la expresión de concepciones, modelos, saberes. En este sentido, el sujeto investigador también es el sujeto investigado y por tanto son “self-study” o producciones autobiográficas.

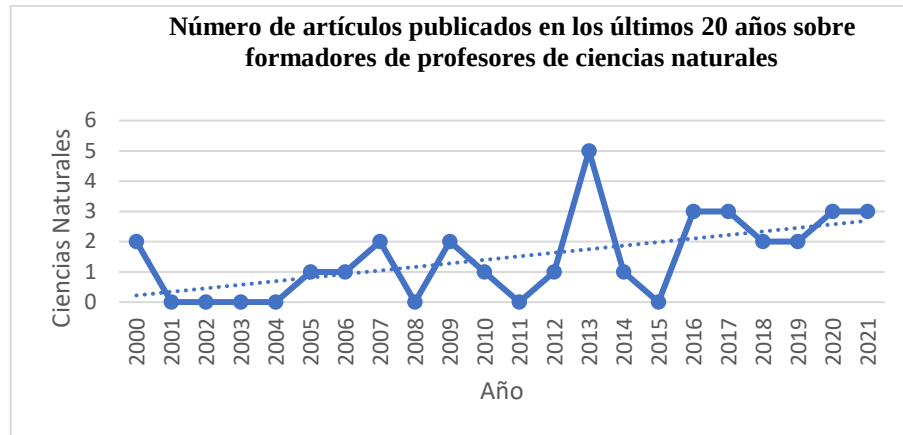
Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Características de las investigaciones publicadas en artículos durante el periodo (2000-2021)

En la organización de la revisión sistematizada se procuraron las siguientes características: año, país, idioma, tipo de investigación, métodos y técnicas de investigación usadas. Se presentan a continuación, en primer lugar, para los artículos de investigación encontrados en las bases de datos de SCOPUS, Redalyc y Scielo.

a) Año de publicación. De acuerdo con la Figura 6, es posible inferir que hay una tendencia al alza en las investigaciones que tienen como sujeto de interés el formador de profesores de Ciencias. En el año 2013 se registró el mayor número de artículos con 5 publicaciones. No obstante, hay siete años donde no se encontraron publicaciones. En la revisión uno de los elementos notorios fue la distancia entre las fechas de publicación y envío o aceptación, por lo que fue necesario volver a confirmar tanto en Google académico como en la base de datos el año correcto de la citación.

Figura 6 – Distribución de artículos publicados en los últimos 20 años sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales



Fuente: Elaboración propia.

b) Países: Esta característica está asociada a los países en donde se desarrollan las investigaciones con los formadores, ya que se hace necesario reconocer los contextos en donde desarrollan sus prácticas y/o formación. En algunos artículos esta información no era explícita, por lo cual se tuvo que deducir en los casos en que los formadores eran los mismos investigadores del artículo. En dos artículos, simplemente no se aplica esta categoría por ser propuestas o modelos teóricos. En el mapa de la Figura 7 se evidencia que la mayoría de los artículos se concentran en EE. UU. y Brasil con un 46,875% entre ambos. Se encontraron pocos artículos en contextos donde el español es el idioma oficial (A10 en Argentina y A16 en España).

Figura 7 – Mapa con los países donde se desarrollan las investigaciones analizadas sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales



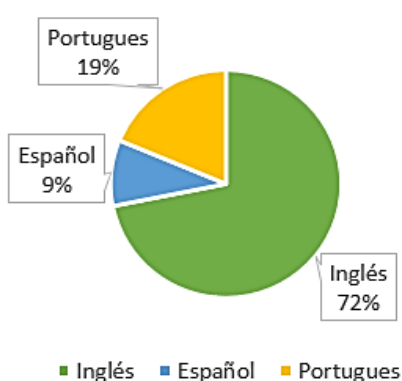
Fuente: Elaboración propia.

c) Idioma y tipo de investigación: La Figura 8 muestra que el 72% de los artículos analizados están escritos en el inglés, seguido por 6 artículos en portugués (A2, A7, A11, A25, A27, A32) y solo 3 en español (A4, A10, A16). Esto, se debe a que la

mayoría de los artículos que se analizaron hacen parte de la base de datos SCOPUS. Por otro lado, en la Figura 9 se evidencia que el 87% de los artículos analizados corresponden a investigaciones en los que se desarrollan procesos metodológicos y constitución de datos y solo un 13% son teóricos (A5, A8, A18, A19).

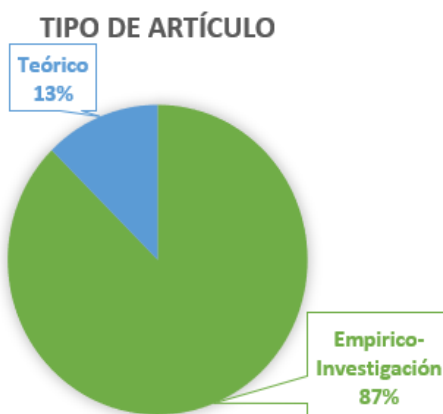
Figura 8 – Distribución de los idiomas de los artículos sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales

**IDIOMAS DE LOS ARTÍCULOS ANALIZADOS
SOBRE FORMADORES DE PROFESORES DE
CIENCIAS**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 - Tipos de artículos sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales



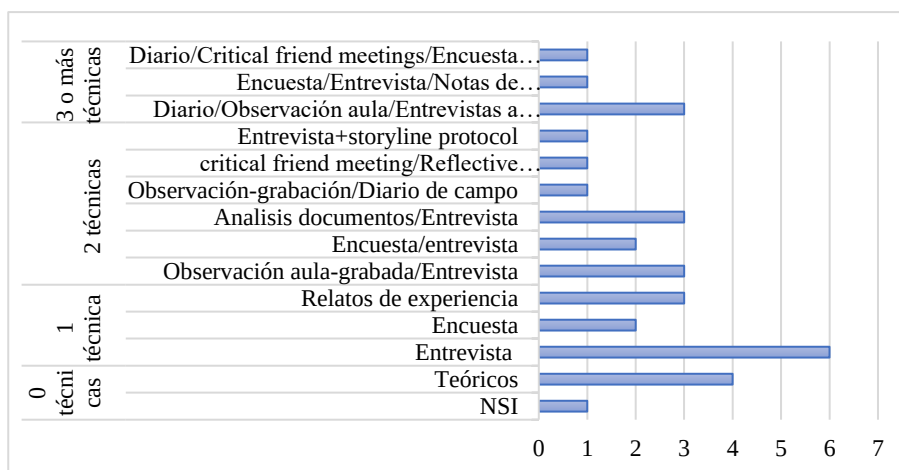
Fuente: Elaboración propia.

d) Técnicas de constitución de datos más usadas en los artículos de investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales.

Como se muestra en la Figura 10, en las investigaciones analizadas predomina el uso de 1 y 2 técnicas de constitución de datos, entre las cuales, la más común es la entrevista, con el 53,1%. Por otro lado, se destaca la incorporación de otro tipo de técnicas como las reuniones con amigos críticos (A24, A29), los “storyline” (A14) y los relatos de experiencia también

llamados “reflective narratives” que hacen parte de investigaciones sobre la praxis y experiencias del formador.

Figura 10 – Distribución de artículos de acuerdo con la cantidad y tipo de técnicas usadas en la investigación



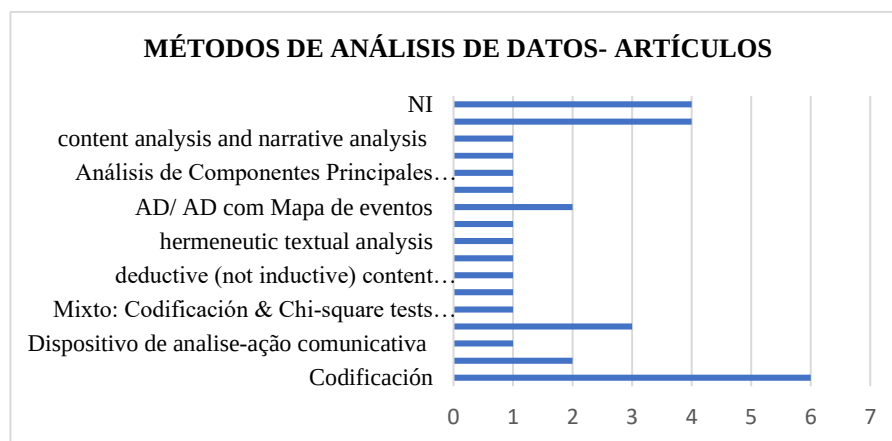
Fuente: Elaboración propia.

Por último, es notoria la investigación A.28 en donde se desarrolla un estudio longitudinal con cuatro técnicas a saber: Encuesta, entrevistas, notas de campo y artefactos.

e) Métodos de análisis de datos más usadas en los artículos de investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales

Los métodos utilizados para analizar los datos constituidos son variados y en algunos casos no explícitos. Sin embargo, se resalta la multiplicidad de marcos de las Ciencias Sociales para estudiar las prácticas, los discursos y los documentos producidos por los formadores de profesores.

Figura 11 – Métodos de análisis de datos de las investigaciones sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales



Fuente: Elaboración propia.

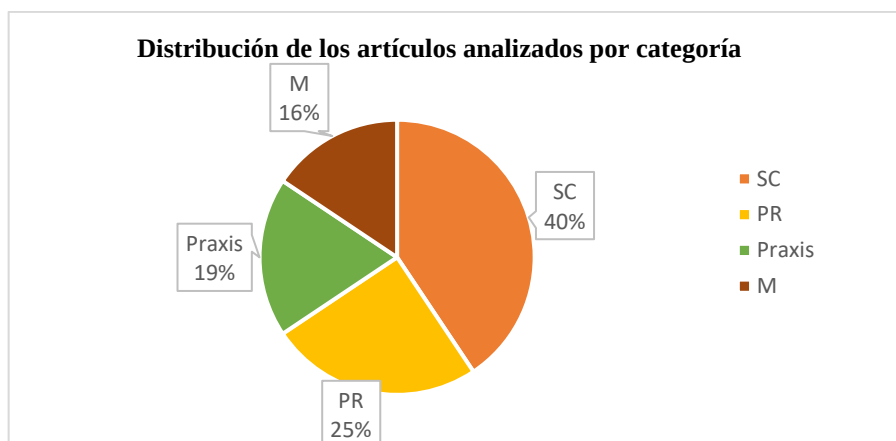
Cómo se evidencia en la Figura 11, el método usado con mayor frecuencia es la codificación, sin embargo, también se encuentran otros en donde se usa la codificación como un elemento para organizar la información, como es el caso del análisis de contenido. Se resaltan los artículos A3, A10, A22, A28 que se inscriben en metodologías de investigación mixtas e incorporan análisis cualitativos y cuantitativos de los datos. Los demás artículos se ubican en el paradigma cualitativo.

2.3.4 Análisis de los artículos de acuerdo con los objetivos de investigación

Después de describir los artículos, se aborda la siguiente cuestión: 2) ¿Cuáles son los principales hallazgos, aportes teóricos y metodológicos de la investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales?

La Figura 12 muestra la distribución de los artículos por categoría. Se evidencia que la más frecuente es SC, empero, también es notorio la cantidad de trabajos sobre PR y Praxis, pues estos dos temas han sido relevantes y de amplia discusión en los últimos años en el campo de la Enseñanza de las Ciencias. Esto, se refleja con un trabajo mínimo por año durante los últimos 5 años. En cuanto a este aspecto, no se encontraron trabajos que directamente analizaran el impacto de políticas de formación de formadores.

Figura 12 – Distribución de los artículos analizados sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales por categorías

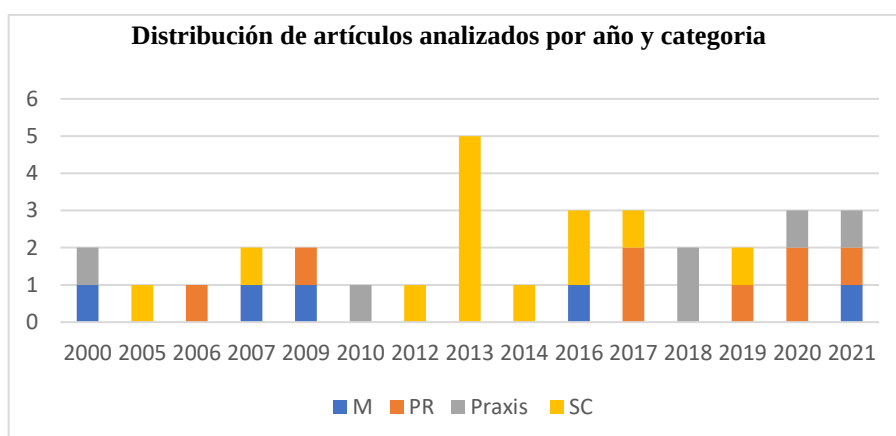


Fuente: Elaboración propia.

Al cruzar las categorías con los años en que se publicaron los artículos (Figura 13), es posible evidenciar una tendencia en los temas. Así, entre el 2000 y 2010 se presentan 9 artículos que corresponden al 28,125%, con 2 artículos en PR, 2 en Praxis y 2 SC respectivamente. En la categoría M se cuenta con 3 artículos y es donde se concentran las propuestas de modelos.

En la última década se concentra el 71, 875% de todos los artículos analizados sobre formadores y la categoría más frecuente es SC con 11 artículos, 5 solo en el 2013. También es notorio que en los últimos cinco años se encontró un artículo de PR y/o Praxis por año como mínimo. Esto muestra una tendencia a investigar la práctica del formador por otros y por sí mismo.

Figura 13 – Distribución de artículos analizados por año y categoría



Fuente: Elaboración propia.

a) Saberes, concepciones, creencias, percepciones y opiniones del formador de Ciencias (SC).

Los trabajos bajo esta categoría corresponden al 37,5% del total y la mayoría de ellos se publicaron entre el 2012 y 2014. En la clasificación por temas, se encuentran cuatro artículos

asociados a concepciones sobre la Naturaleza de la Ciencia. Zhang *et al.*, (2004) en **A3** objetivaron explorar los conocimientos y creencias de profesores, formadores, investigadores y profesores chinos sobre la naturaleza de la Ciencia, así como los posibles desarrollos de prácticas basadas en la indagación que apuntan a una pedagogía constructivista en China, a través de una encuesta y entrevistas. Ellos encontraron que más del 90% de los participantes no tuvieron una experiencia de formación en NdeC (NOS) (ZHANG *et al.*, 2004) y esto se convierte en un factor influyente en sus prácticas y en la implementación de prácticas basadas en la indagación. Los artículos **A12** (WAN; WONG; ZHAN *et al.*, 2013) y **A13** (WAN *et al.*, 2013) al parecer se desprenden de la misma investigación, pero con diferentes enfoques. En el primero, se procura dar cuenta de las concepciones de los formadores de los formadores de profesores chinos de Ciencias sobre la enseñanza de la NdeC (NOS). El segundo, analiza la influencia del marxismo en los puntos de vista de los formadores. Uno de los resultados más importantes de estas dos investigaciones es que el contexto, particularmente la base epistemológica sobre la que se construyen las concepciones de Ciencia influye en los aspectos de la NdeC (NOS) que los formadores movilizan. En este caso, la filosofía marxista, que se evidencia en la selección de los tópicos más clásicos de la NdeC (NOS): *a) la base empírica de la investigación científica b) la lógica de la investigación científica, c) el proceso general de la investigación científica, d) la naturaleza progresiva del conocimiento científico y e) la visión realista de la mente y el mundo natural (Traducción propia)*⁶. Así mismo, Carvalho (2016), en **A19**, desarrolla un artículo teórico en el cual presenta algunas comprensiones propias de la NdeC (NOS) y cuestiones culturales y religioso-científicas que acompañan su visión, evidenciando los problemas que enfrentan los profesores en aulas super diversas, especialmente en Reino Unido. Del mismo modo, plantea la necesidad que los formadores atiendan a este aspecto en los procesos de formación. Concluye que es el inicio de un proyecto de investigación con formadores y considera que en ese rol es necesario cuestionarse: *cómo ayudar a los profesores en formación a ir más allá del aprendizaje de/sobre la Ciencia hacia un compromiso más significativo con la noción de que, una vez en el aula, enseñarán a alumnos con una serie de visiones del mundo y creencias religiosas (traducción propia)*⁷.

⁶ [...] the most commonly suggested NOS elements are also the classical ones, including empirical basis of scientific investigation, logics in scientific investigation, progressive nature of scientific knowledge, realist views of mind and natural world, and general process of scientific investigation.

⁷ Ultimately, the question for science teacher educators remains how to assist pre-service teachers in moving beyond the learning of/about science towards a more significant engagement with the notion that once in the classroom they will be teaching students with a range of worldviews and religious beliefs.

En la misma línea de problematizar el contexto donde se desarrollan las prácticas y concepciones de los formadores, en **A26**, Booí y Khuzwayo (2019) investigan el impacto de las diversas creencias filosóficas sobre la conceptualización del profesor de Ciencias y el conocimiento de contenido que se materializa en los diseños curriculares de programas de formación de profesores en seis universidades de Sudáfrica. Encontraron que las universidades conservan una concepción anticuada del plan de estudios y los académicos apuntan a diversas metas e interpretaciones de la política curricular considerando la compartimentalización de los contenidos basados en las disciplinas. También mencionan:

En el contexto sudafricano, el legado de los principios de segregación arraigados a través de la pedagogía fundamental en muchas facultades de educación es la cuestión clave que requiere un análisis crítico y un debate por parte de los académicos en las universidades antes de que se pueda decidir el nuevo paradigma o modelo para el diseño y el desarrollo del currículo⁸(BOOI; KHUZWAYO, 2019, p. 9, traducción propia).

El artículo escrito por los profesores Leite, Dourado y Morgado (2016) en **A17**, versa sobre el impacto del proceso de Bolonia en los programas de formación de profesores en Portugal desde el punto de vista de los formadores de profesores. El problema abordado es el cambio en el proceso de formación de los profesores, pues entre los años 80 y 2007, Portugal contaba con programas de formación inicial de profesores de Ciencias con una duración de cinco años. Tras la implementación del acuerdo de Bolonia, los profesores se forman en graduaciones de 3 años y másteres de dos años. Por lo tanto, el objetivo fue analizar cómo los formadores de profesores de Ciencias perciben los cambios que se produjeron en la forma de educar a los profesores de Ciencias de secundaria (7º a 9º curso) y de bachillerato (10º a 12º curso) en Portugal, debido a la aplicación de las directrices del proceso de Bolonia, a través de una encuesta a 33 formadores portugueses de nueve universidades. Los formadores consideran que los dos modelos son adecuados y no les preocupa el cambio en la forma de titulación de los profesores de Ciencias. Con todo, los especialistas en Enseñanza de las Ciencias prefieren las licenciaturas en Enseñanza por no dividir la formación. *En relación con el modelo post-Bolonia, ambos subgrupos están preocupados por los componentes de práctica docente y Ciencia a enseñar y consideran que ambos deben ser reforzados* (LEITE; DOURADO; MORGADO, 2016). Para finalizar, el artículo discute la necesidad de trabajar en el desarrollo profesional de los formadores y la identidad profesional, debido a que se hipotetiza que los formadores parecen tener un pensamiento limitado sobre los programas de enseñanza en los que están inscritos y

⁸ In the South African context, the legacy of segregation principles entrenched through fundamental pedagogics in many faculties of education is the key issue that requires critical analysis and debate by academics at universities before the new paradigm or model for curriculum design and development can be decided upon.

esto se debe a que “*en otros países (GOODWIN; KOSNIK, 2013; NELSON, 2015), así como en Portugal, los formadores de profesores simplemente se convierten en formadores de profesores*”⁹ (LEITE; DOURADO; MORGADO, 2016, p. 891)”. Con esto, se refuerza la necesidad de implementar políticas para generar comunidades de práctica en las que se comparten discursos, documentos, conocimiento y experiencias.

En el tema de inclusión y diversidad, las profesoras Vilela-Ribeiro y Benite (2013), en **A11** analizan las concepciones sobre alfabetización científica y educación inclusiva desde los discursos de diez formadores de una universidad brasilera y concluyen, que, aunque los profesores tengan apertura para acoger propuestas de la Educación inclusiva, no se sienten preparados para actuar en la diversidad y tampoco para formar profesores con ese perfil. Lo que se encuentra en sintonía con la ausencia de indicios en la formación inicial. Aunque no se define la educación inclusiva, se hace referencia a la diversidad en las aulas asociada a género, raza, color, deficiencias, por lo cual en la entrevista que desarrollan abordan los siguientes temas: *Alfabetização científica; - Formação inicial do professor de ciências na IES/Jataí; - Disciplina de Libras nos cursos de licenciatura; - Alternativas para melhor formação inicial de professores de ciencias* (VILELA-RIBEIRO; BENITE CANAVARRO, 2013, pág. 783)

En **A15** Atwater *et al.* (2013) investigaron las experiencias de formadoras y formadores afroamericanos en Universidades de EE. UU con la intención de descubrir sus éxitos y retos. A través de una encuesta demográfica y entrevistas, formadores de diferentes universidades y programas de formación de profesores compartieron sus retos y éxitos, en los que se destaca la incorporación de una educación científica multicultural, con equidad y justicia social en sus cursos. Pese a esto, hubo formadores que se vieron como profesores sin éxito debido a las evaluaciones de los estudiantes. Se considera, por tanto, que compartir estas experiencias podía ayudar a que percibieran como fueron racializados por sus estudiantes y cómo conseguían generar avances en políticas y programas para incorporar a los formadores en estas discusiones. Resaltan que: “Cuando los colegas blancos apoyaban su enseñanza de las Ciencias, estos profesores de Ciencias negros no experimentaban la ira total de sus alumnos y seguían sintiéndose exitosos en su enseñanza” (ATWATER *et al.*, 2013, p. 1309, traducción propia)¹⁰.

⁹ However, that limitation may be at least in part explained by the fact that in other countries (Goodwin & Kosnik, 2013; Nelson, 2015), as well as in Portugal, teacher educators just become teacher educators. (LEITE; DOURADO; MORGADO, 2016, p. 891)

¹⁰ When White colleagues were supportive of their science teaching, these Black science educators did not experience the total wrath of their students and continued to feel successful in their teaching [...]

En **A10** el equipo de profesoras encabezado por Giuliano *et al.* (2012) desarrollaron una investigación que busca caracterizar a los formadores de profesores de Física en Argentina a través de una encuesta realizada a 78 formadores. Encuentran que se pueden clasificar de acuerdo con las asignaturas que imparten en: formación disciplinar específica, formación docente y formación general. Concluyen que en la formación inicial se privilegian los conocimientos científicos construidos hasta el siglo XIX.

Además, las estrategias didácticas más utilizadas correspondían a las clases teóricas y a la resolución de problemas numéricos y cerrados de lápiz y papel, mientras que el trabajo experimental en laboratorio y la resolución de problemas abiertos eran escasamente utilizados, y era casi nula la utilización de estrategias que incorporan tecnología de la información y la comunicación y medios audiovisuales. En la asignatura de “enseñanza de la Física” es donde se hace más evidente el uso del debate (GIULIANO *et al.*, 2012, p.1261).

Por último, también concluyen que al parecer las condiciones de trabajo y las tradiciones de los dos subsistemas de Universidades en Argentina: ESNU, ESU¹¹, condicionan el uso de recursos y estrategias didácticas

Con respecto al tema de desarrollo profesional, el artículo publicado en español de los profesores Martínez-Chico, Jiménez- Liso y López-Gay (2014), en **A16**, enfoca en lo que los formadores dicen sobre las finalidades de su docencia y su propia práctica docente y entrevistan a 14 formadores del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de 11 universidades españolas. Las entrevistas son analizadas bajo categorías del Modelo Basado en la Indagación y se resalta la importancia de este estudio en el reconocimiento de las finalidades de un formador que enseña Ciencia y sobre Ciencia en el aula de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Concluyen que:

Las características de este enfoque MBI que los formadores declaran desarrollar en sus clases han resultado útiles para aproximarnos a la descripción de la docencia en DCE en la formación inicial de maestros en el Estado español. Al declarar casi todos los formadores entrevistados al menos tres elementos del enfoque MBI como prioritarios en la formación inicial de maestros, y mostrando la mitad de los formadores casi todos los elementos MBI o IBSE, podemos concluir que estos enfoques de enseñanza indagatorios están entre los prioritarios según sus propias declaraciones (MARTÍNEZ; JIMÉNEZ; LÓPEZ, 2014, p. 602).

En la misma vía de reconocer los objetivos y fines de los formadores y cómo se desarrollan en su práctica, en **A14** los profesores Berry y Van Driel (2013), examinan cuáles

¹¹ESNU: Educación Superior Universitaria.
ESU: Educación Superior Universitaria.

son los objetivos de un formador en un *method course*¹² y cómo se han desarrollado sus conocimientos a partir de su formación y experiencias profesionales a través de una entrevista y un protocolo “storyline” aplicada a 5 formadores de Australia y 7 de Países Bajos distribuidos en dos Universidades. No encontraron diferencias marcadas entre los contextos y sí entre los formadores. Así, evidenciaron que los antecedentes personales y las trayectorias profesionales se reflejaban en sus prácticas, objetivos y enfoques. Esto es:

la experiencia de estos TEs se caracterizaba por centrarse en hacer que sus PST pensarán críticamente sobre su plan de estudios, y desafiarlos a reconsiderar sus objetivos y enfoques de enseñanza relacionados. Sin embargo, los TEs con una larga historia como maestros de escuela y poca o ninguna experiencia en investigación, usualmente mostraron un tipo de experiencia más pragmática, enfocándose fuertemente en estimular a los PSTs a comprometerse e interactuar con sus estudiantes como algo que necesitan reconocer como crucial para la enseñanza efectiva de las Ciencias¹³ (BERRY; VAN DRIEL, 2013, p. 125, traducción propia).

También se resalta en este estudio la necesidad de estimular comunidades de práctica de formadores y el diálogo entre colegas para construir enfoques comunes.

Así mismo, las profesoras Greensfeld y Elkad-Lehman (2007), en **A6**, investigan el cambio de pensamiento de siete formadores en Israel a través de entrevistas a profundidad y construcción de narrativas de historia de vida. Encuentran que los formadores se centran en su formación disciplinar e inicialmente no se perciben como formadores de profesores. Expresan una preocupación sobre la incongruencia entre los conocimientos académicos y disciplinarios que poseen y los que requieren en su práctica y resaltan que: *el conocimiento de los formadores de profesores de Ciencias es personal y está ligado al contexto, como se ha descubierto en relación con el conocimiento práctico de los profesores de Ciencias en las escuelas* (BARNETT; HODSON, 2001; VAN DRIEL; BEIJAARD; VERLOOP, 2001)¹⁴. Por lo tanto, los componentes que están presentes en los procesos de cambio de pensamiento de los formadores están estrechamente ligados al contexto, a aspectos institucionales, a la filosofía y cultura de la universidad, entre otros.

¹² Los “method courses” están centrados en las teorías y las prácticas de enseñanza de áreas de contenido específicas para profesores en formación y son comunes en EE. UU y Europa.

¹³ Typically, these TEs’ expertise was characterized by a focus on making their PSTs think critically about their curriculum and challenging them to reconsider their goals and related teaching approaches. However, TEs with a long history as a schoolteacher and little or no research experience usually displayed a more pragmatic type of expertise, focusing strongly on stimulating PSTs to engage and interact with their students as something they need to recognize as crucial to effective science teaching.

¹⁴ We have found that knowledge of science teacher educators is personal and context-bound, as has been found regarding practical knowledge of science teachers at schools (Barnett; Hodson, 2001; Van Driel; Beijaard; Verloop, 2001).

Por último, en **A22** la profesora Barak (2017) presenta la primera parte de un estudio longitudinal que procura investigar, en una fase de exploración, los métodos de instrucción más comunes de los formadores en Israel a través de entrevistas a 63 de ellos y avanzar hacia un marco pedagógico basado en el constructivismo y las tecnologías en la nube, que se evalúa en la fase de implementación con 52 formadores. Se resalta de este estudio que los formadores usualmente usan sistemas de gestión de aprendizaje como Moodle y en menor frecuencia entornos de aprendizaje en la nube como blogs, Google drive, entre otros, lo cual se evidencia también en la poca implementación en sus cursos. No obstante, sí esperan que sus alumnos, futuros profesores en formación utilicen tecnologías avanzadas. También, identificaron cuatro atributos que los formadores de profesores de Ciencias consideran para la enseñanza y el aprendizaje en el siglo XXI: “(a) *adaptarse a cambios frecuentes y a situaciones inciertas*, (b) *colaborar y comunicarse en entornos descentralizados*, (c) *generar datos y gestionar información*, y (d) *liberar el control fomentando la exploración*¹⁵” (BARAK, 2017, p. 299, Traducción propia). Para finalizar, desarrollaron e implementaron un marco pedagógico en la nube y los formadores que participaron afirmaron tener una opinión positiva sobre esta pedagogía y su aplicación en el aula. Como se evidencia, este último artículo podría estar tanto en concepciones como metodologías y propuestas.

De tal modo, la exploración de las concepciones, percepciones y saberes de los formadores nos indican posibilidades de trabajo en comunidades de práctica que apuntan a procesos de co-formación continuos.

b) Metodologías, propuestas de modelos de formación para formadores de profesores de Ciencias (M).

En esta categoría se ubicaron cuatro trabajos que proponen modelos para la formación y co-formación de los formadores de profesores de Ciencias.

En el artículo de la profesora Schneider (2007), en **A5** se propone un marco basado en las comunidades de práctica y discute lo que define a un formador de profesores de Ciencias, así: *como comunidad de práctica, los formadores de profesores de Ciencias tienen un conocimiento único que permite la participación competente en la práctica de la educación de los profesores sobre la enseñanza de las Ciencias*. Por tanto, desde este abordaje es posible acompañar a colegas universitarios que no se identifican como formadores de profesores, pero

¹⁵ This study identified four attributes associated with teaching and learning: (a) adapting to frequent changes and uncertain situations, (b) collaborating and communicating in decentralized environments, (c) generating data and managing information, and (d) releasing control by encouraging exploration (p. 299)

que podrían participar de la comunidad de práctica, así como generar artefactos, documentos, discursos propios de la comunidad de práctica.

Abell *et al.* (2009) en **A8** problematizan la formación en los programas doctorales en el campo de la Enseñanza de las Ciencias en la que usualmente se presentan lagunas entre el conocimiento desarrollado y el aprendizaje para ser formador de profesores. Por tanto, a través de la narración de algunas experiencias en forma de viñetas proponen el **modelo de continuidad profesional** en el que se articulan *roles de aprendiz y fases del desarrollo profesional en el doctorado* para el desarrollo del PCK de los formadores. Ellos mencionan: *A medida que un individuo se mueve a través de las fases de la carrera y participa en varios roles de aprendiz, él/ella define una trayectoria en el desarrollo del PCK para enseñar a los profesores* (ABELL *et al.*, 2009, p. 80, traducción propia). Para finalizar, analizan algunas implicaciones de este modelo en los programas de formación doctoral y proponen el siguiente estándar para la Association for Science Teacher Education (ASTE) de EE. UU, incorporando elementos para pensar la política educativa:

Estándar 7: Conocimiento para la enseñanza de profesores en formación inicial. El formador de profesores de Ciencias principiante posee conocimientos para enseñar a los profesores de Ciencias en los entornos de preinstrucción, incluyendo orientaciones, conocimiento del aprendizaje de los profesores en preinstrucción, conocimiento del plan de estudios del curso de métodos, conocimiento de las estrategias de instrucción para la formación de profesores y conocimiento de la evaluación para los cursos de métodos.¹⁶ (ABELL *et al.*, 2009, p. 91, traducción propia)

Kahn y Zeidler (2016) en **A18**, proponen el modelo HARTSS (Humanities, arts, and Social Science), haciendo una metáfora con “Heart que sugiere un doble significado: Representa tanto los aspectos emocionales y afectivos de la toma de perspectiva como el “bombeo” de intervenciones exitosas entre diferentes disciplinas mientras se intercambian contextos de la misma manera que la sangre intercambia gases al moverse por el circuito pulmonar”¹⁷ (KAHN; ZEIDLER, 2016, p. 267, traducción propia), para el desarrollo de prácticas de los formadores que promuevan el razonamiento socio científico y consideren elementos de la educación emocional. Así, presentan el modelo de un circuito y discuten cómo se puede desarrollar en humanidades con la toma de perspectiva en la escritura y lectura, artes

¹⁶ Standard 7: Knowledge for Teaching Preservice Teachers. The beginning science teacher educator possesses knowledge for teaching teachers of science in preservice settings, including orientations, knowledge of preservice teacher learning, knowledge of methods course curriculum, knowledge of instructional strategies for teacher education, and knowledge of assessment for methods courses.

¹⁷ The metaphor of a heart suggests a dual meaning: It represents both the emotional, affective aspects of perspective taking and the “pumping” of successful interventions between different disciplines while exchanging contexts much the same way that blood exchanges gases as it moves through the pulmonary circuit.

escénicas con la actuación y la toma de perspectiva y en estudios sociales: intervención en el autismo. Terminan discutiendo los aportes que podría traer este modelo a los formadores de profesores en términos de investigación y enseñanza al poner el énfasis en el desarrollo de una habilidad socioemocional.

Para finalizar, en A30, Hanuscin *et al.*, (2021) plantean un modelo de co-formación titulado *Shadowing* entre formadores implementado en una universidad de EE. UU., para apoyar el aprendizaje profesional de formadores de profesores de Ciencias a través del acompañamiento de un miembro del grupo de formadores a otro, en su curso, ya sea porque es nuevo en la facultad, o porque inicia un curso que antes no ha enseñado, entre otros casos. Al igual que en A8, a través de la narrativa de experiencias llamadas viñetas, implementan y analizan las experiencias obtenidas en el proceso donde resaltan cinco características comunes al *shadowing*: (1) *un enfoque en el aprendizaje frente a la evaluación*, (2) *la naturaleza personalizada y recíproca de nuestro aprendizaje*, (3) *la naturaleza emergente de nuestros objetivos de aprendizaje*, (4) *una estructura flexible*, y (5) *un compromiso a largo plazo*¹⁸ (HANUSCIN *et al.*, 2021, p. S152, traducción propia). De este artículo también se resalta cómo se logra implementar como política institucional, que las horas de *shadowing* son consideradas en la carga académica de los formadores y por tanto sugieren que sean contabilizadas en las horas de los formadores que deciden desarrollar el modelo y trabajar de esta forma con otros formadores.

Los cuatro modelos presentes problematizan dos fases del desarrollo profesional de los formadores, en su formación como doctores en Enseñanza de las Ciencias y en la práctica. Se resalta la necesidad de construir y participar de comunidades de práctica y a su vez, la de avanzar en aspectos propios de políticas institucionales para desarrollar estos modelos.

c) Prácticas del formador de profesores de Ciencias (PR)

En esta categoría se encuentran 9 trabajos que investigan la práctica de los formadores desde la planeación hasta sus discursos y desarrollo en el aula.

El primer artículo referido es una propuesta que ejecutan las profesoras Silva y Schnetzler (2000) en A2, basada en el modelo de *la sala de espejos* para trabajar con profesores en ejercicio y se desarrolla en Brasil. Problematicando lo que usualmente los profesores

¹⁸ [...] we identified five characteristics that, despite variation in our individual experiences, are common to shadowing. These include (1) a focus on learning vs. evaluation; (2) the personalized, reciprocal nature of our learning; (3) the emergent nature of our learning goals; (4) a flexible structure; and (5) long-term engagement.

universitarios consideran que deben reflexionar los profesores de enseñanza media y básica, así como sus prácticas tradicionales de enseñanza en la formación continuada. Proponen analizar las concepciones sobre “*parcerías*” y cómo estas se constituyen en la práctica a través de negociaciones entre los formadores y profesores. El análisis de la práctica desarrollada por dos formadoras con 35 profesores de enseñanza básica y media mostró que la *parceria*:

“assumiu um caráter intermediário entre a usualmente adotada pela academia a da racionalidade técnica e a parceria colaborativa. Isto porque o encaminhamento teórico metodológico de tal programa foi pré-determinado e as formadoras direcionaram as preocupações e reflexões dos professores definindo quais problemas deveriam ser enfocados e sob qual suporte teórico (SILVA; SCHNETZLER, 2000, p. 52).

La estrategia formativa de “sala de espejos” en la que se discuten situaciones educacionales simuladas se mostró eficaz para generar reflexiones sobre las prácticas de los profesores en ejercicio.

En el mismo ámbito de la formación continua de profesores de Ciencias, en **A4** las profesoras Martins *et al.*, (2006), analizan el discurso de formadoras que desarrollan talleres con profesores de enseñanza media y básica en Brasil, procurando comprender de qué manera los formadores transitan entre los discursos de los campos científico y pedagógico. El análisis se desarrolla usando elementos de la teoría del *habitus* de Bourdieu. Observaron que en los talleres se generan discursos híbridos de *habitus* lingüísticos de los campos científico y pedagógico y es necesario que se den desplazamientos entre uno y otro campo, en la búsqueda de desestabilizar los *habitus* (MARTINS *et al.*, 2006), para que haya acumulación de capital cultural por parte de los agentes sociales envueltos.

En la misma vía de analizar el discurso de los formadores, en **A7**, los profesores Vieira y Sousa do Nascimento (2007) analizan los procedimientos didácticos discursivos de un formador durante un semestre cuando aborda cuestiones de naturaleza de la Ciencia en la formación inicial de profesores de Física en Brasil y que están enfocadas a prácticas argumentativas. El formador elegido es considerado un ejemplo o modelo por su experiencia y conocimiento sobre los estudios del discurso en el aula. Como resultado, la investigación propone un esquema dinámico de estructura procedimental argumentativa en tres fases: abertura, desarrollo y cierre. En este, se identifican roles y procedimientos del formador que se retoman y adaptan de Vieira y Sousa do Nascimento (2007): *Procedimentos de enunciação de pontos de vista contraditórios e justificação de um ponto de vista*, *Procedimento de confirmação de um ponto de vista*, *Procedimento de estabelecer a última palavra* (VIERA; SOUSA DO NASCIMENTO, 2007). Para finalizar, sugieren continuar con estudios de análisis

del discurso y de procedimientos discursivos didácticos en otras prácticas como explicativas, narrativas, etc.

Fraser (2017) en **A20** aborda algunos dilemas de enseñar PCK a futuros profesores en un entorno de aprendizaje a distancia basado en papel. Asimismo, se propuso analizar el contenido del material que se dirige a los estudiantes de cursos de Biología, Ciencias Naturales y Ciencias Físicas, en la búsqueda de analizar cómo se incorporan las habilidades de NdeC (NOS), NOSI, PCK y procesos científicos en el material didáctico de cursos de metodología para estos programas. También, entrevistó a un gerente institucional senior, un profesor investigador senior especializado en educación a distancia, un metodólogo senior y un consultor especialista en educación a distancia. Como resultados puntuó que los módulos cubren las necesidades teóricas de los estudiantes, pues presentan los paradigmas y filosofías que sustentan la Ciencia y la educación científica, sin embargo, no logran monitorear la participación de los alumnos en comunidades de investigación en un corto espacio de tiempo. (FRASER, 2017). De esta suerte, menciona que los tutoriales siguen teniendo un papel destacado en los procesos de formación de comunidades menos privilegiadas, pero son limitados a la hora de exponerlos a la NdeC (NOS). Resalta además, que la investigación ha mostrado el valor de las prácticas participativas, colaborativas e interactivas en los procesos de desarrollo humano y que *para complementar los tutoriales en papel se deben implementar decisiones de políticas cuidadosamente monitoreadas a medida que la vanguardia de la calidad crea comunidades científicas de práctica* (FRASER, 2017, p. 45, traducción propia).

Sin duda, este es un trabajo que destaca la complejidad de los procesos formativos en la Educación a Distancia que, después de la pandemia y las adaptaciones que los formadores tuvieron que realizar para garantizar la continuidad de la enseñanza, en manos desinteresadas por la formación crítica de profesores, podría volverse una moda para “ahorrar costos”, perpetuando procesos de formación empobrecidos para personas menos favorecidas.

En **A21**, los profesores Davis *et al.*, (2017) desarrollan un estudio basado en la pedagogía del ensayo y con foco en la aproximación de la práctica para preparar profesores de Ciencias novatos. Su foco se centra en las pausas de los ensayos de práctica cuando el formador genera debates y cuestionamientos a los futuros profesores. En el análisis de las prácticas de tres formadores se enfocaron en cómo usan estas pausas y cuáles son los criterios o factores que influyen en sus decisiones. Como resultado, encontraron que los ensayos ayudan a los futuros profesores a estar más atentos y a interpretar y responder al pensamiento de los estudiantes. Las pausas en los ensayos se ajustaron a sus necesidades, de manera contextual y particular.

Los formadores de docentes adaptaron sus comentarios y aportes a los contextos institucionales específicos y al conocimiento de los estudiantes con los que se estaba llevando a cabo el trabajo de formación docente. Igualmente, combinaron sus aportes con sus percepciones sobre las fortalezas y necesidades específicas del candidato ensayador (DAVIS *et al.*, 2017).

Por último, este trabajo plantea una forma de abordar la práctica en la formación inicial de profesores desde una pedagogía de la práctica en donde se resalta el aprendizaje colectivo, contextual y en comunidad, tanto para los futuros profesores, como para los formadores.

Ferreira Dos Santos *et al.* (2019) en **A25**, analizan el proceso de co-docencia desarrollado por dos formadoras de las asignaturas de Biología y Física, en un programa de formación inicial en Pedagogía en Brasil, para comprender cómo este proceso puede contribuir a la formación de formadores y futuros profesores desde diálogos interdisciplinarios. Durante un semestre se recopilaron las grabaciones de las aulas de las formadoras, categorizadas por episodios, en las que se abordó el tema de las fluctuaciones para la vida del planeta, analizando a la luz de conceptos como cronotopo de la teoría de Bakhtin (2014) en el Laboratorio de Interdisciplinar de Educação em Ciências (LIEC). Los análisis arrojaron que hubo episodios en los que las profesoras establecieron diálogos previos a las aulas para construir un enunciado que respondiera a un horizonte social del abordaje del tema y los encuentros de planeación conjunta generaron cuestiones que fueron llevadas al aula. Los autores proponen seguir investigando y desarrollando investigaciones que lleven al trabajo interdisciplinar entre formadores, aprovechando espacios de formación como el LIEC.

En esta misma vía de la interdisciplinariedad, en Brasil, los profesores Domiciano y Lorenzetti (2020), en **A27** analizan el abordaje de la perspectiva CTS en un programa de formación inicial de profesores de Ciencias en la Universidad Federal de Paraná-Litoral, así como en la práctica y percepción de los formadores. Para esto, realizaron un análisis documental, observación y grabación de 13 aulas del curso y entrevistas a cuatro formadores. Las categorías y subcategorías en las que se presentan los resultados son:

1) enfoque CTS reducido con subcategorías como 1ª) tecnología como aplicación de la Ciencia, 1b) Ciencia inductivista y lineal, 1c) perspectiva tecnocrática y 1d) neutralidad de la Ciencia y la Tecnología. 2) Enfoque crítico CTS con subcategorías como 2ª) contextualización, 2b) interdisciplinariedad 2c) Naturaleza de la Ciencia y Naturaleza de la Tecnología 2d) dialogicidad, 2e) problematización y 2f) toma de decisiones además de las categorías emergentes 3) humanización y 4) cultura de la participación (DOMICIANO; LORENZETTI, 2020, p. 22).

Los resultados muestran una predominancia del enfoque crítico CTS, con una leve aparición del enfoque CTS reducido, donde la mayor problemática está en la concepción de la tecnología como Ciencia aplicada o como técnica. Frente a esto mencionan:

Supõe-se que estas discussões se fizeram presentes em razão tanto da formação dos professores formadores não contemplar aspectos sobre a tecnologia, bem como a pouca ênfase dada historicamente aos debates que permeiam os conhecimentos tecnológicos no Ensino de Ciências (DOMICIANO; LORENZETTI, 2020, p. 22).

En el análisis documental, aunque el enfoque explícito del curso no es CTS, si hay evidencia en los documentos y en lo que dicen los formadores que van al encuentro de una educación CTS pues el programa está pautado en una educación problematizadora.

Los profesores ST. Clair *et al.*, (2020) en **A28**, desarrollan un estudio longitudinal y mixto para comprender el desarrollo profesional en contexto de los formadores de profesores de Ciencias en EE.UU. Anualmente, durante cinco años, se desarrolló una experiencia de formación continua con formadores en el marco de un programa de formación continua más amplio. En el transcurso de los cinco años, participaron 44 formadores que trabajaban en cursos de método, de los cuales 12 estuvieron 2 años seguidos. Se realizaron encuestas, entrevistas, observaciones y se analizaron artefactos producidos por los participantes, tales como los planeadores diarios y presentaciones en Power Point. Los resultados se interpretaron a la luz del marco de evaluación del DP de Guskey (2000) y buscaban responder a cómo se construyó la comprensión y la confianza de los participantes en la implementación de la indagación, el PBL y la instrucción de la NdeC (NOS) por su participación en el programa de Desarrollo profesional, mejoras y elementos a resaltar, de la experiencia de formación. Los formadores evidenciaron una percepción positiva frente a la experiencia de Desarrollo profesional y una comprensión de algunos elementos claves sobre indagación, Naturaleza de la Ciencia (NdeC) y aprendizaje basado en problemas (ABP). Sin embargo, *“la mayor divergencia fue que muy pocos participantes mencionaron la necesidad de enseñar la naturaleza de la Ciencia explícitamente en sus entrevistas”* (ST. CLAIR *et al.*, 2020, p. 12 traducción propia).

Para finalizar, llaman la atención sobre las acciones necesarias por parte de las instituciones y organizaciones científicas para mantener las redes de formadores, sugiriendo:

Tal vez una mejor alineación con los objetivos de otras organizaciones científicas estatales existentes o la distribución de las horas de contacto a lo largo de un año determinado para tener reuniones presenciales más frecuentes daría sus frutos en términos de colaboración duradera (ST. CLAIR *et al.*, 2020, p. 18, traducción propia).

Por último, en **A32**, Araujo y Silva (2021), en este reciente estudio abordan la caracterización de elementos para el entendimiento y las construcciones conjuntas que un grupo

de formadores de Química desarrollan en el proceso de planeación conjunta de disciplinas asociadas a la Práctica como componente curricular (PCC). Desde la teoría de la acción comunicativa de Habermas y con la realización de entrevistas y grabaciones de cuatro encuentros de un grupo de 6 formadores, evidencian la importancia de constituir grupos de discusión con formadores para lograr procesos de integración conceptual y práctica entre disciplinas y tienen la oportunidad de compartir reflexiones y discusiones. Además, en la planeación conjunta, acordar los cambios en las asignaturas. Los formadores en los encuentros avanzaron hacia el uso de elementos de la acción comunicativa principalmente “*o uso de frases explicativas e as pretensões de validade explicativas e avaliativas, que denotam um encaminhamento para a busca por entendimentos*” (ARAUJO; SILVA, 2021, p 17). También, se resalta la importancia de que un formador actúe como coordinador de acciones, pues posibilita el debate abierto y la construcción conjunta. Como resultados, los profesores acordaron la planeación e implementación de una disciplina de historia de la química y cambios en las asignaturas asociadas a la práctica como componente curricular, agregando y retirando contenidos y proponiendo nuevos abordajes.

Para finalizar, se resalta que de los nueve trabajos asociados a la práctica de las y los formadores, el 67% se desarrollan en Brasil, por lo que va al encuentro que este sea un aspecto problematizado desde diferentes ámbitos y con trabajos tan destacados como el del propio Paulo Freire. El trabajo colaborativo en colaboración con otros formadores y reconociendo la potencialidad del desarrollo profesional a través del encuentro con otras personas, estableciendo redes, comunidades de práctica, etc., es un elemento destacado en estos trabajos, así como la necesidad de políticas institucionales que apoyen y promuevan estos espacios e iniciativas.

d) Praxis del formador de profesores de Ciencias

Los artículos que recogen la praxis de formadores de Ciencias son A1, A9, A23, A24, A29, A31 y se caracterizan por ser análisis y desdoblamientos de la práctica de los formadores, estar escritos en primera persona y utilizar métodos de autoestudio.

Así, en **A1**, la profesora Smith (2000) describe el contenido del curso de método de Ciencias que construyó con base en el PCK. Presenta las transformaciones que en su práctica encuentra útiles, proporcionando ejemplos de tres tipos de contenido pedagógico desde su planeación y práctica con profesores de enseñanza básica y finaliza mencionando la importancia de una base común de conocimientos sobre el contenido y conocimiento pedagógico en la formación inicial de profesores. Los datos hacen parte de una investigación de dos años en el

marco de un programa de formación de profesores de cinco años. Para esto, utiliza las notas de una estudiante, entrevistas y videgrabaciones de las aulas para reflexionar sobre su aprendizaje y enseñanza, presentando lo que ocurrió en el aula y luego sus reflexiones de cada episodio. Los tres contenidos pedagógicos están asociados a la naturaleza de la Ciencia y se enmarcan en el uso del PCK para conocer a los futuros profesores de Ciencias desde: a) antecedentes de los futuros profesores como aprendices de Ciencias, b) ideas de los futuros profesores sobre Ciencia y científicos en el trabajo, c) puntos de vista de los futuros profesores sobre aprender a enseñar Ciencias. En la discusión final plantea:

A menudo pienso en mi trabajo como formadora de profesores de Ciencias como una especie de tejido que estoy haciendo con los estudiantes. Lo que sé sobre el conocimiento y las creencias de los estudiantes influye en los colores y patrones que elijo cómo puntos de partida para nuestro tejido. A veces elijo un patrón que he tejido muchas veces antes, como las autobiografías del aprendizaje de la Ciencia, porque ha demostrado ser un comienzo para el tejido. Es una manera de involucrar a los estudiantes personalmente con el trabajo; casi todos se involucran y aportan algo del tejido¹⁹ (SMITH, 2000, p. 41, traducción propia).

Para finalizar, plantea algunas preguntas que sigue investigando asociadas al tipo de PCK que utiliza para trabajar con profesores de primaria, preguntándose por similitudes y diferencias entre el conocimiento que desarrolla como formadora y el que desarrollan los futuros maestros. Así, como la importancia de que ellos participen de comunidades profesionales amplias de formadores de docentes de Ciencias.

Hug (2010) en **A9**, analiza un *auto-dilema* que surgió en un curso de método en EE. UU con futuros profesores de Biología, Ecología y Educación Ambiental, en el que él enseña. Desde un estudio auto etnográfico presenta lo que llama “*mi viaje pedagógico práctico para ayudar a pensar a los futuros maestros a pensar sobre su relación con la naturaleza y las formas en que la cultura representa la naturaleza a través del texto, el lenguaje y la experiencia*” (HUG, 2010, p. 369, traducción propia). Para esto, narra las estrategias que desarrolló a través del uso de literatura infantil ambiental en el curso. Les propuso a sus estudiantes algunas tareas como la selección y evaluación crítica de libros y discutió cómo la precisión científica y el antropomorfismo pueden contribuir positiva o negativamente en la relación entre el ser humano y el ambiente en estas edades, así como en la búsqueda de que los futuros profesores desarrollen

¹⁹ I often think of my work as a science teacher educator as a kind of weaving that I am doing with students. What I know about students' entering knowledge and beliefs influences the colors and patterns that I choose as starting places for our weaving. Sometimes I choose a pattern I've woven many times before, like the autobiographies of learning in science, because it has proven start for the weaving. It's a way to get students involved personally with the work; almost everyone engages and contributes something of the weaving. I re-work something I've tried before, like the readings about scientists – unraveling some of the usual pieces and weaving in new themes new connections, e.g., the students' own work as learners of science in our classroom (SMITH, 2000).

capacidades para seleccionar y utilizar estos libros en la educación ambiental. Para finalizar, presenta algunas ventajas y desventajas que observó en el uso de esta literatura infantil ambiental y desde su desarrollo profesional como formador de profesores, planteando otras actividades que puede implementar para profundizar con esta estrategia.

En esta misma vía de reconocer los dilemas que surgen en la práctica de las y los formadores, Mansfield y Loughran (2018) en **A23** desarrollan una investigación en la que se analizan cómo se desarrolla y aplica el constructo Equilibrio pedagógico en las situaciones de incertidumbre y dilemas durante la práctica en dos módulos de un curso de método con 58 futuros profesores de Biología en Australia y exponen la siguiente pregunta: *¿De qué manera el uso del equilibrio pedagógico como una forma de confrontar y procesar mis experiencias de ser una contradicción viviente ha apoyado mi desarrollo como formador de profesores de Ciencias principiante?* Para dar cuenta de su praxis utilizan grabaciones de las aulas, un diario de campo y diálogos con su amigo crítico-segundo autor del artículo. Primero, identificaron los momentos en que aparecía una *desalineación* entre sus *intenciones y acciones para la enseñanza*. Luego, plantearon el problema y propusieron acciones para enfrentar esta desalineación, analizando lo que llaman la *prueba de la acción* o el impacto percibido de estas acciones en los estudiantes. Para finalizar, concluyen que el estudio les ha permitido estar cómodos con la incertidumbre en la práctica y esto se convierte en algo que los empodera como formadores. El manejo de dilemas, por tanto, es una oportunidad para el desarrollo profesional en la búsqueda de un nuevo equilibrio pedagógico.

En el mismo camino de describir el proceso de desarrollo profesional de un formador de profesores novato, en **A29**, los profesores Donohue, Buck y Akerson (2020) apoyan el proceso de una formadora novel, estudiante de doctorado y junto con ella, actuando como amigos críticos, exploran la transición educativa que tiene lugar al enfrentar la incomodidad generada por prácticas. Estas tienen como foco la investigación y la enseñanza basada en la indagación para la formación de profesores.

A través de un diario, reuniones con amigos críticos, encuestas a los estudiantes y análisis de documentos del curso respondieron a los siguientes interrogantes:

¿Qué significa la Ciencia y la investigación científica para un nuevo instructor en este programa?, ¿Cómo cambian estos significados en el transcurso del primer año? y (2) ¿Cuál cree un nuevo formador, que es el papel de un educador de maestros como profesor de investigación científica? ¿Cómo cambia esta creencia a lo largo del primer año? (DONOHUE; BUCK; AKERSON, 2020. p. 2, traducción propia).

En sus hallazgos se resalta que antes de este proceso la instructora-futura formadora se enfocaba en la enseñanza de contenidos en el aula universitaria. Esto, anexo al encuentro de otras investigaciones, muestra que los profesores universitarios usualmente están más preocupados por cubrir los contenidos tradicionales. Sin embargo, en este caso, la futura formadora avanzó en la comprensión de la relación entre el desarrollo de los conocimientos científicos y la Naturaleza de la Ciencia. Los autores también mencionan que:

Al principio de este autoestudio, la nueva instructora escribió muchas veces en su diario que ya no se sentía como una profesora de Ciencias y que esa sensación la dejaba con una sensación de incertidumbre respecto a su trayectoria profesional. Aunque reconocía plenamente que su identidad como profesora de Ciencias y su identidad como formadora de profesores estaba en proceso de fusión, al final de este proceso ya no se sentía preocupada por su trayectoria profesional (DONOHUE; BUCK; AKERSON, 2020, p. 8, Traducción propia).

Para finalizar, se resalta la relación entre este proceso de desarrollo profesional y la identidad que se forja en la medida en que se avanza en una reflexión rigurosa de la práctica en la búsqueda de alinear sus acciones con sus intenciones en la enseñanza.

Utilizando también el método de amigos críticos, las profesoras Azam y Goodnough (2018), en A24, desde Canadá, narran una experiencia de formación en un curso de método con 17 estudiantes indígenas que se forman como profesores de Ciencias para enseñar en sus comunidades. La primera autora creó seis narraciones reflexivas sobre el proceso de (re) diseño y modificación del curso. La segunda, actuó como amiga crítica, brindando retroalimentación y comentarios sobre estas narrativas. Frente a esto mencionan: *Describimos nuestro co-aprendizaje como formadores de profesores de Ciencias con respecto a la enseñanza de las Ciencias culturalmente relevante y cómo descolonizamos nuestra enseñanza para indigenizar un curso de métodos de Ciencias* (AZAM; GOODNOUGH, 2018, p. 75, traducción propia). Así, desde las perspectivas teóricas i) Two-Eyed-Seeing; y (ii) enseñanza culturalmente relevante (CRT) generan sus análisis y reflexiones organizadas en las siguientes direcciones: Norte) ¿Hacia dónde vamos? Aquí se posicionan como formadoras de profesores de Ciencias inclusivas. Buscan infundir perspectivas y formas de conocimiento indígenas en los cursos de método y reconocen en el autoestudio una herramienta importante para aprender juntos y transformar las prácticas en el aula. Occidente) ¿Dónde estamos ahora? En el que revisan la comprensión que tienen sobre la Enseñanza culturalmente relevante (CRT) a través de las narraciones reflexivas. Sur) ¿Dónde hemos estado? Describen los compromisos que han tenido con la educación inclusiva y sus esfuerzos por *aprender sobre culturas indígenas y las formas de conocimiento, y cómo han dado forma a nuestras identidades de formadores de docentes.*

Este: ¿De dónde venimos? En la que reconocen y aceptan su propia diversidad y analizan el impacto que tuvo en el establecimiento de una comunidad dentro del aula.

Para finalizar, en el mismo camino de problematizar la diversidad cultural en el aula, la profesora Burke (2021) en **A31**, utiliza el enfoque de incidentes críticos para reflexionar sobre un episodio de su práctica en un curso de método en Canadá. En él se pone en discusión la necesidad de que los futuros profesores y formadores aborden cuestiones asociadas a ideologías en la enseñanza de las Ciencias y por tanto avancen en el análisis de sus propias prácticas, perspectivas y prejuicios respecto a la Ciencia y la diversidad de los estudiantes en la enseñanza de las Ciencias (BURKE, 2021). Ella menciona que se identifica como una mujer negra de Inglaterra, de ascendencia caribeña e invita a los futuros profesores de Ciencias a pensar en el potencial del posicionamiento de un profesor sobre su identidad cultural y lo que puede significar en el aula de Ciencias (BURKE, 2021). En este incidente, su preocupación se enfoca en cómo los futuros profesores pueden estar asumiendo la diversidad en las aulas y menciona:

Vi los intentos de mis estudiantes a profesores de mantenerme contenta (y los diversos aspectos de mi interseccionalidad). Intentaban darme lo que creían que yo quería de ellos. Me preocupaba la idea que este enfoque simbólico pudiera ser la forma en que mis CTs abordaran los encuentros con las identidades minoritarias en sus propias aulas (BURKE, 2021, p. 7, traducción propia).

Así, a través de la interseccionalidad como marco teórico, analiza el contexto histórico y el incidente crítico, avanzando hacia las implicaciones que este tipo de discusiones pueden tener en la formación inicial y el papel como formadores en la discusión dentro del aula de los problemas de desigualdad social. Esto es:

Ignorar el legado de la educación científica es dejar sin examinar los mecanismos de marginación que mantienen una forma contemporánea de colonialismo. Reflexionando sobre el incidente central de este trabajo, aprecio que, si bien la interseccionalidad de mi presencia Física en el aula de educación científica alentó a los CT a ser más conscientes de la forma en que presentaban lo que hasta entonces habían considerado información neutral, este desencadenamiento físico no sería cierto para todos los formadores de docentes. Esto permite a los formadores de profesores evitar desafiar disposiciones y comportamientos que refuerzan ideologías perjudiciales (BURKE, 2021, p. 13, Traducción propia).

Por tanto, el trabajo, en sí, es una invitación a generar estos diálogos en la formación de profesores de Ciencias

Para finalizar, estos trabajos que informan sobre la praxis de los formadores en diversos aspectos tienen el potencial de convertirse en casos que analizar por otros formadores y en una forma de construir comunidades de práctica donde se compartan experiencias, dilemas y perspectivas variadas. Por ende, es llamativo el papel de los amigos críticos para potenciar la praxis y como un método para avanzar en las reflexiones, estableciendo comunidades y

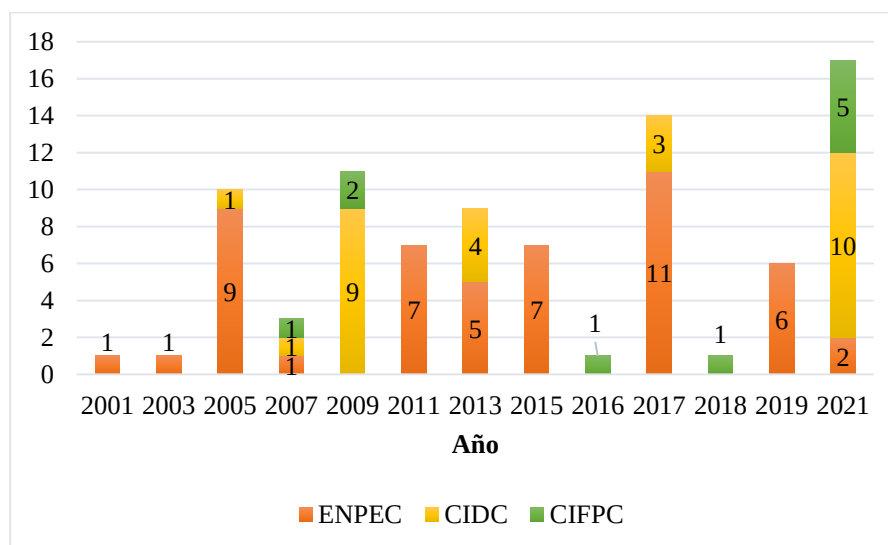
procesos de co-formación, así como el contexto y espacio académico en el que se desarrollan estos procesos de praxis, que en el modelo de formación de científicos que después se especializan en enseñanza de las Ciencias. Así, los cursos de método juegan un papel fundamental en la formación de cuestiones asociadas a la naturaleza de la Ciencia y enseñanza basada en la indagación.

A continuación, repetiremos el proceso de síntesis y análisis con las comunicaciones en eventos.

2.3.5 Características de las comunicaciones en eventos (2000-2021)

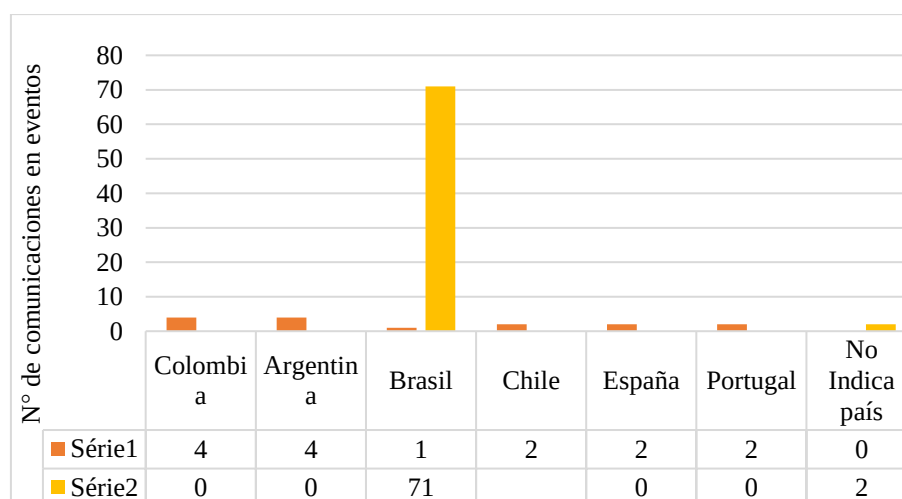
Las comunicaciones en eventos que a continuación se describen y que hacen parte de esta revisión sistematizada son en total 88, distribuidas de la siguiente manera: 56, 8% del Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC-BR) en Brasil, 31,8% del Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias (CIDC-ES&P), usualmente llevado a cabo en España y Portugal y 11,4% del Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias en Bogotá- Colombia (CIFPC-COL), de aquí en adelante se mencionarán con las siglas. Estos tres eventos presentan una producción importante de trabajos desarrollados en Latinoamérica, por lo cual se resalta su importancia para enfocar en los estudios del formador de profesores en el contexto Latinoamericano.

- a) **Año de publicación.** La Figura 14 muestra la distribución de las comunicaciones en eventos agrupadas por evento y década. Igualmente, se evidencia que en el ENPEC-BR ha habido un aumento considerable de las publicaciones sobre formadores de profesores de Ciencias entre la primera y la segunda década analizadas. No obstante, en los eventos CIDC-ES&P y CIFPC-COL se ha mantenido estable con una variación menor. En 2021, ya se constata un aumento en las publicaciones con 17 en total, lo cual es significativo para el inicio de la década, pues corresponde al 37,8% con respecto a la década anterior.

Figura 14– Distribución de las comunicaciones por año y evento

Fuente: Elaboración propia.

b) Países: A continuación, en la Figura 15 se presenta la distribución de Comunicaciones en Eventos por países y se resalta que, siendo estos tres eventos internacionales, el 93,2% de los trabajos analizados se desarrollan en contextos de países Latinoamericanos. Es importante resaltar que la formación de profesores de Ciencias Naturales en Latinoamérica se desarrolla principalmente en programas de pregrado universitarios con una duración de cinco años.

Figura 15 – Distribución de comunicaciones en eventos por idioma y países

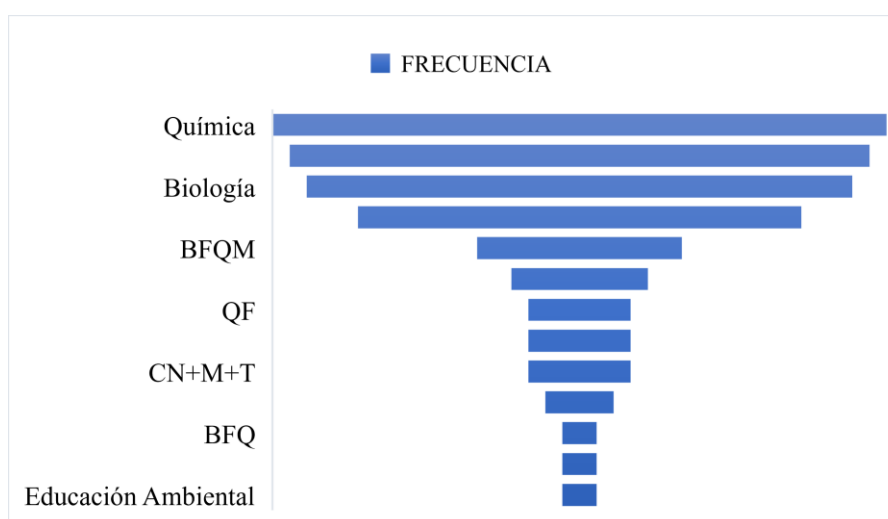
Fuente: Elaboración propia.

La producción de Brasil representa el 81,8% de las comunicaciones en eventos analizadas y del total, el 83% está en portugués. Los trabajos en Latinoamérica representan el

93,2% de los analizados en las comunicaciones de eventos, por lo cual es una muestra significativa del avance en la investigación en esta región durante los últimos veinte años.

c) Disciplina (s) del programa y/o los formadores que participan de la investigación: En esta categoría se recogen las disciplinas y/o programas en que participan y/o se forman los formadores investigados. Así, Química y Ciencias Naturales son las que mayor frecuencia presentan. Empero, como se ve en la Figura 16, aparecen combinaciones de disciplinas como Matemáticas, Tecnología, Educación ambiental, de salud, de campo, entre otras. Lo que evidencia la variedad de programas de formación en Latinoamérica que procuran atender justamente las necesidades de formación en diferentes contextos.

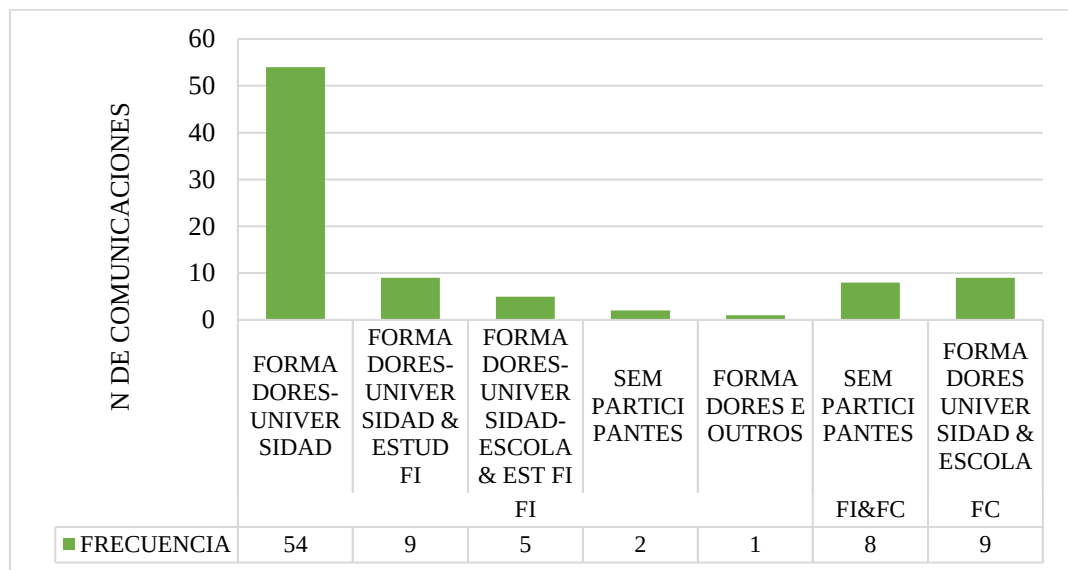
Figura 16 – Distribución de las comunicaciones en eventos por disciplinas del formador/ de investigación



Fuente: Elaboración propia.

d) Tipo de formación: La siguiente categoría muestra la distribución de los trabajos de acuerdo con el contexto de formación, concentrándose principalmente en la formación inicial con el 79,5%. Sin embargo, llaman la atención las comunicaciones que se enmarcan entre la formación continua con el 10, 22%, y que ubican a formadores que están en la interfaz universidad-escuela. Esta información se muestra en la Figura 17.

Figura 17 – Distribución de comunicaciones en eventos según los sujetos que participan en la investigación

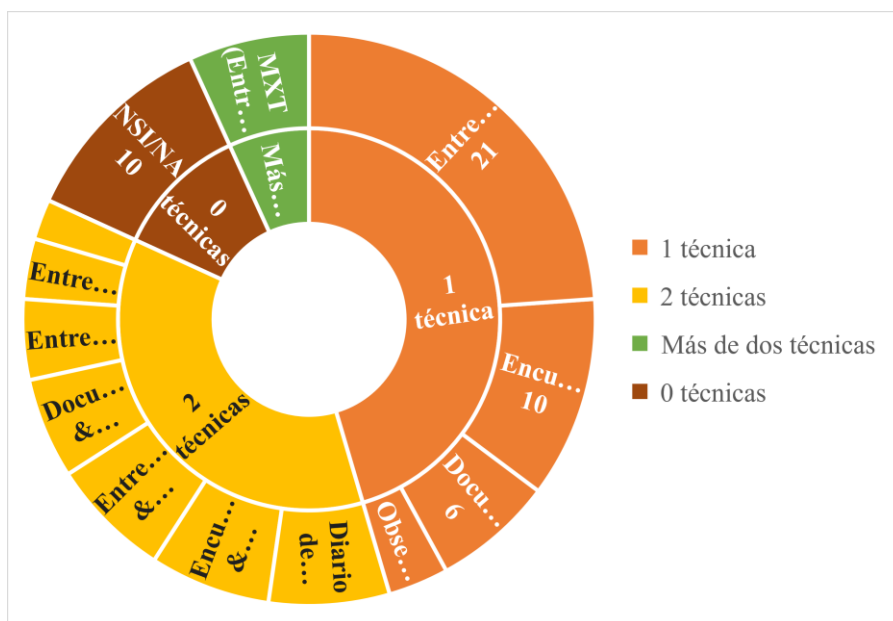


Fuente: Elaboración propia.

e) Técnicas de constitución de datos más usadas en los artículos de investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales.

En las comunicaciones de eventos analizadas predomina el uso de 1 técnica con el 45% y con ella la entrevista con un 45% del total de los documentos analizados. Seguido está el uso de la encuesta, en contraste con la Observación o encuentros entre formadores que corresponde al 22,7% de los trabajos analizados. Las comunicaciones que no indican técnica se enfocan en levantamientos en bases de datos, por lo cual, aunque la técnica sería documental, son investigaciones sobre investigaciones de formadores de profesores de Ciencias. Esta información se presenta en la Figura 18.

Figura 18 – Distribución de las comunicaciones en eventos por técnicas de constitución de datos

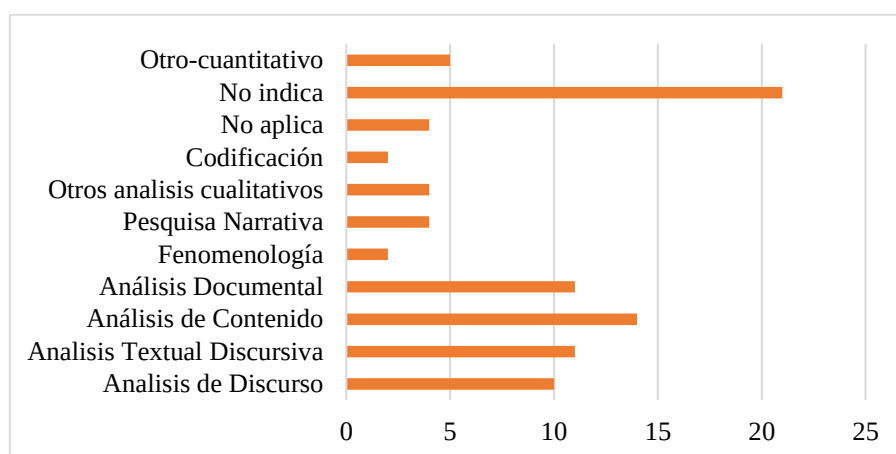


Fuente: Elaboración propia.

f) Métodos de análisis de datos más usadas en los artículos de investigación sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales

La Figura 19 muestra la distribución de las metodologías descritas para el análisis de los datos en las investigaciones sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales. El 23,8% de las comunicaciones no indicaban explícitamente una metodología de análisis de datos. En el restante de casos se ve la pluralidad de enfoques para analizar datos cualitativamente. El análisis de contenido, la codificación y el uso de escalas con análisis numérico, representan un 23,8%, dando paso a otro tipo de análisis como el análisis textual discursivo, una metodología desarrollada por los profesores Moraes e Galiazzi (2006; 2011; 2016) y el análisis del discurso con diversas variantes y enfoques. Dentro de otros análisis cualitativos, encontramos análisis micro genéticos, de interacciones discursivas y acciones comunicativas. En pocas ocasiones se menciona el uso de software para análisis de datos cualitativos.

Figura 19 – Metodologías de investigación de comunicaciones en eventos sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales



Fuente: Elaboración propia.

2.3.6 Limitaciones de la revisión sistematizada desarrollada sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales

La revisión sistematizada que se ha desarrollado sobre formadores de profesores es limitada y presentó algunas dificultades que pueden haber afectado los resultados obtenidos. En ese sentido, algunas decisiones iniciales como la elección del término “formador de profesores de Ciencias Naturales” determinó un universo en el cual otras investigaciones bajo el término “docente universitario” fueron excluidas. En este mismo sentido, una de las dificultades encontrada en los buscadores, principalmente en Scielo y Redalyc es la pluralidad de formas para nombrar a los formadores de profesores de Ciencias Naturales en español: docente formador, formador de formadores, formador de profesores, al igual que la falta de filtros en la última base de datos. La mayoría de los artículos de Redalyc y Scielo encontrados, coincidieron.

La falta de homogeneidad en los sites donde se alojan las comunicaciones completas, llevó a que las herramientas y el proceso de búsqueda no pudiera ser del todo homogéneo. Por ejemplo, en algunos sites fue necesario recurrir a la herramienta búsqueda en página del navegador para filtrar por el término porque no ofrecían una herramienta de filtros.

También una limitación es la elección de los eventos, pues seguramente cada uno de los países tiene un evento nacional donde es posible encontrar trabajos sobre formadores, sin embargo, no era posible para esta investigación abarcar tal diversidad y volumen de datos.

Otras limitaciones asociadas al conocimiento propio del volumen de datos que se deriva de este tipo de investigaciones y que deja por fuera análisis importantes. En esta ocasión se usó Atlas Ti, para apoyar la codificación.

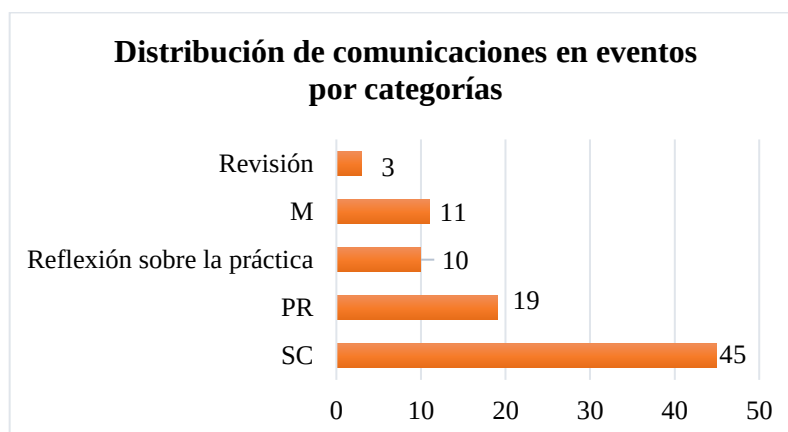
La elección de las categorías para clasificar los trabajos pudo arrojar una limitación de la investigación, pues no siempre era posible clasificar un trabajo en solo una, por lo cual se decidía por la de mayor énfasis o impacto de acuerdo con los resultados.

Por último, las limitaciones del idioma pues la lengua nativa de la investigadora es el español y la segunda lengua es el portugués, por lo cual los artículos en inglés fueron más difíciles de leer y requirió apoyo de traductor.

Para finalizar, llama la atención que no se encontraron trabajos específicamente de los siguientes países: México, Ecuador, Bolivia, Venezuela y Perú, por lo cual es posible que las ecuaciones de búsqueda, como los términos usados para filtrar en los buscadores, excluyeran trabajos de estos países o se publiquen en otras bases de datos.

2.3.7 Análisis de las comunicaciones orales de acuerdo con los objetivos de investigación

La Figura 20 muestra la distribución de las comunicaciones de eventos por categoría. Se evidencia que la más frecuente es SC con el 50% de los trabajos. Sin embargo, también es notoria la cantidad de trabajos sobre PR y Reflexión sobre la práctica 35,2%. No se encontraron trabajos que analizaran directamente el impacto de políticas de formación de formadores. También se destaca una categoría que recoge los trabajos sobre revisiones de artículos y/o tesis y disertaciones asociados a los formadores de profesores de Ciencias llamada *Revisión* con 3 trabajos. (Véase Figura 20).

Figura 20 – Distribución de comunicaciones en eventos por categorías de análisis

Fuente: Elaboración propia.

2.3.7.1 Revisiones de artículos, tesis y disertaciones

Las cuatro revisiones en **CE.47**, **CE.49**, **CE.68** y **CE.75** se desarrollaron con investigaciones, tesis y disertaciones de Brasil y se presentaron en el ENPEC de 2015, 2019 y 2021 respectivamente. Las dos primeras, desarrolladas por los profesores Cortela y Nardi (2013; 2005), objetivo buscar en trabajos publicados lo que la academia tenía producido sobre Identidad profesional, saberes y prácticas de docentes universitarios, así como trazos de algún tipo de formación continuada de carácter institucional y personal y de un universo de 223. Analizó 15 trabajos publicados que se clasificaron en la categoría de *Ensino superior* y se enfocaban en prácticas de docentes universitarios.

La segunda revisión de las profesoras Coan y Pedrosa Maestrelli (2019) se enfocó en lo producido en 5 tesis y 20 disertaciones sobre el formador de profesores en Licenciaturas en Educación del campo. Por último, las profesoras Nascimento Ferreira y Crista Mello (2021) en una comunicación reciente buscaron la producción académica entre el 2010 y el 2020 sobre formación de formadores de Química y analizaron 2 disertaciones y 8 tesis. En los tres casos se concluye que las producciones son insuficientes y apuntan a problemas asociados a las necesidades del formador de profesores de Ciencias en diversos contextos.

2.3.7.2 Las concepciones, percepciones, trayectorias, características y saberes de los formadores de profesores de Ciencias.

En esta categoría se agrupa el 51, 1% de las Comunicaciones en Eventos (CE) analizadas. Para describirlas se crearon 5 subcategorías:

a) Características y saberes del formador de profesores de Ciencias con 11 CE: Pizzato *et al.* (2007) en **CE.15** caracterizan concepciones epistemológicas y didácticas, así como sus relaciones con el perfil profesional del profesor de Ciencias que esperan desarrollar. Cortela y Nardi (2013) en **CE.41** también caracterizan las relaciones entre el perfil de los formadores y las marcas o su ausencia en la formación inicial de profesores de Física en Brasil. Viveiro y Lunardi (2011) en **CE.27** entrevistan a 7 profesores que enseñan áreas específicas en Brasil y caracterizan su formación pedagógica y aspectos de sus prácticas pedagógicas. Baptista *et al.* (2013) en **CE.39** y Costa, Freire y Lorencini (2021) en **CE.74** determinan las trayectorias de formadores. El primero de los que actúan en una Licenciatura de Ciencias Biológicas y el segundo de formadores de una licenciatura en Química que están en disciplinas asociadas a la Práctica como componente curricular y la enseñanza de la Química. En Aguiar y Guridi (2015) en **CE.45** caracterizan las estrategias metodológicas de los formadores de una Universidad de Brasil, y Sanzovo y Lunardi (2015) en **CE.46** objetivaron investigar los principios e intenciones de los formadores de Ciencias en un curso de pedagogía. Por otra parte, Bambirra *et al.* (2015) en **CE.48** caracterizaron el perfil de 40 formadores de un curso de Licenciatura en Ciencias biológicas en Brasil, a través del Lattes y un cuestionario, al igual que en Follmann *et al.* (2017) en **CE.53** que a través del currículo de 42 formadores, establecen relaciones entre el área de formación y las prácticas. Dutra, Teixeira y Ghisolfi (2017) en **CE.64** investigan los saberes movilizados por formadores de profesores de Química en los estágios supervisados y en Ottogalli y Bermudez (2021) en **CE.79** investigan el Conocimiento Didáctico de Contenido de formadores sobre de Biodiversidad con formadores de profesores de nivel primario en Argentina.

Estas caracterizaciones se ubican en la formación inicial de profesores y se desarrollan principalmente a través de lo que los formadores dicen en entrevistas semiestructuradas y/o cuestionarios.

b) Concepciones sobre tópicos de la investigación en Enseñanza de las Ciencias: En esta subcategoría se encuentran 15 trabajos que se enfocaron en las concepciones y/o percepciones de los formadores en los siguientes tópicos: En **CE.28** (Estudos sobre a construção da diversidade na formação inicial de professores de ciências: do discurso de formadores ao currículo escrito, 2011) y **CE.29** con Benite y Vilela-Ribeiro (2011) se investigaron las concepciones de los formadores sobre Educación para la diversidad y Educación inclusiva, respectivamente. En **CE.57**, Pizzutti y Alves (2017) y en **CE.84** Miranda (2021) se analizan las percepciones de los formadores asociadas a CTS. Con respecto a sus percepciones y

concepciones sobre la divulgación científica, las profesoras Dapieve y Cunha (2021) publicaron las comunicaciones **CE.76** y **CE.81**. Gonçalves y Marques (2011), en **CE.33**, aborda las posibilidades de trabajar en experimentación con formadores que se encuentran en disciplinas integradoras en la formación de profesores de Química. En **CE.36**, Muenchen y Delizoicov (2013) investigan las concepciones sobre problematización que tienen los formadores de profesores de Ciencias. En **CE.44**, los profesores Ortiz y Batista (2015) investigaron las concepciones de los formadores sobre el conocimiento didáctico de contenido al examinar una secuencia didáctica para la enseñanza de la relatividad y fundamentada en la Historia de la Ciencias. También, los profesores Milán y Miño (2021), en **CE.80** caracterizan las concepciones de los futuros profesores al inicio y fin de la formación y las compara con la de los formadores de una universidad en Chile. Asimismo, Calixto y Kiouranis (2017) en **CE.55** investigaron las concepciones de los formadores sobre la Práctica como componente curricular en Brasil. Jeus Ramos y Silva (2019) en **CE.67** investiga sus concepciones sobre la interdisciplinariedad. En **CE.69**, Deus y Guimarães (2019) investigan las concepciones de los profesores de un curso de Licenciatura en Ciencias sobre la evaluación del aprendizaje. En **CE.72**, Alvarado-Guzmán y Nardi (2021) presentan un recorte de los discursos de los formadores sobre la enseñanza de la Óptica en una Universidad colombiana. En esa misma vía de los discursos, en **CE.78** la profesora Barboza (2021) analiza lo que muestran los discursos de los formadores de Ciencias y Matemáticas sobre afectividad y cognición.

c) Concepciones sobre recursos didácticos y contenidos científicos: En esta categoría se ubican las comunicaciones que recogen las concepciones y saberes de los formadores sobre recursos para el aula y contenidos científicos específicos: En **CE.2**, Kawasaki y Oliveira (2003) investigaron las concepciones de los formadores de profesores de Biología sobre la Biodiversidad; En **CE.26**, Ortiz y Elizabeth (2009) investigan el status que los formadores le dan al libro de texto en el aula de clase y en el aprendizaje de resolución de problemas en una Universidad en Argentina. También en **CE.35**, los profesores Leite, Garcia y Rocha (2013) investigaron las concepciones de 39 formadores sobre el libro didáctico de Física y lo que se enseña sobre él en la formación inicial de profesores. En **CE.30**, Pires y Lunard (2011) investigaron la comprensión de los formadores de 7 licenciaturas en Ciencias Biológicas de Brasil sobre el texto alternativo. En esa misma vía, las profesoras Mansano y Ursi (2011), en **CE.31**, investigaron las concepciones sobre uso de imágenes de formadores de Ciencias Naturales, Artes y Humanidades. Por último, las profesoras Santana, Assis y Araujo-

Jorge (2021), en **CE.77**, analizan las percepciones de formadoras de educación en salud, sobre el recorrido formativo y los recursos para formar a terapeutas comunitarios en Brasil.

d) Concepciones sobre la formación docente, políticas educativas y reformas. En este tópico se presentan los trabajos que se enfocan particularmente en las concepciones de los formadores sobre la formación docente y/o perfil de un profesor de Ciencias y las implicaciones de políticas o reformas educativas en la forma en que los formadores asumen la formación inicial de profesores de Ciencias. Igualmente, en **CE.3**, Ricardo y Zylbersztajn (2005) investigan cómo los formadores han venido discutiendo y qué opinan sobre los conceptos que aparecen en los parámetros curriculares nacionales en Brasil. En **CE.6**, Cortela y Nardi (2005) analizaron cómo los formadores evaluaron las actividades necesarias para la reestructuración de un curso de Licenciatura en Física en el marco de una reforma curricular. En esa misma vía, en **CE.24**, Camargo y Nardi (2009) analizan los discursos de formadores, estudiantes en formación y profesores en ejercicio en la búsqueda de analizar como las necesidades y demandas de estos grupos se evidencian en la reestructuración de un curso de Licenciatura en Física. En **CE.13**, Maciel (2007) investiga las representaciones sobre la formación y profesión docente en formadores. En esta misma vía, Nonenmacher *et al.* (2013), en **CE.42**, analizan las concepciones sobre formación docente en formadores de profesores de Química y en **CE.34**, Silva y Ferreira (2013) analizan las concepciones de profesor que los formadores tienen en acciones de formación continua.

e) Concepciones sobre funciones y roles como formador de profesores de Ciencias: En esta categoría se agruparon las comunicaciones que enfocan en las concepciones de los formadores sobre sus funciones, roles y tareas. Así, en **CE.63**, Matheus (2017) investigan las comprensiones de formadores que actúan en disciplinas del área específica de Biología en un curso de Ciencias Biológicas sobre sus acciones y su papel como formadores. En esa misma vía y problematizando el tripe universitario: investigación, docencia y extensión, en **CE. 51** y **CE.62**, Suart Jùnior, Zuliani y Carbone (2017) analizan como los formadores vivencian esta triada como parte de la constitución de sus saberes docentes y **CE.65**, Cossetin (2018) investiga 101 profesores universitarios sobre la formación y actuación en la enseñanza de nivel superior. La profesora Salas (2017), en **CE.52**, también investiga la relación docencia-investigación en un grupo de formadores de una universidad chilena. Por último en **CE.21**, Locarnini *et al.* (2009) investigaron las representaciones sobre las competencias propias de su función como formadores de profesores en Argentina.

2.3.7.3 La práctica del formador de profesores de Ciencias Naturales.

En esta categoría se agruparon el 21, 6% de los trabajos y se encuentran divididos en comunicaciones que analizan la práctica del formador de una disciplina de área específica, prácticas de formadores en disciplinas didácticas o asociadas a la práctica como componente curricular y por último a prácticas de formadores en espacios de formación continuada. Es importante denotar que, en todas estas comunicaciones, la práctica fue observada y analizada por una persona diferente al formador que es objeto de estudio.

a) La práctica del formador de una disciplina de área específica:

En **CE.1** y en **CE.5**, Silva y Schnetzler (2000) investigan la práctica pedagógica de un formador de disciplina biológica específica para identificar cuales necesidades formativas ha contemplado en su práctica y cómo esta práctica pedagógica puede promover la elaboración de conceptos científicos por los Licenciandos. En **CE.9**, Bozelli y Nardi (2005) analizan las condiciones de producción de analogías en la práctica de un formador de profesores de Física. En la misma área, los profesores Silva *et al.* (2013) en **CE.40** analizan la interacción entre formadores que realizan una planeación conjunta en el marco de las disciplinas asociadas a Física Moderna y contemporánea. Por último, en **CE.54**, los profesores Guimarães *et al.* (2017) analizan las prácticas diferenciadas de formadores de profesores citados por estudiantes de las Licenciaturas en Química, Física y Biología.

Finalmente, Parga (2021) en **CE.85** estudió cómo los criterios y dimensiones para "ambientalizar" el contenido en la formación de profesores de química en Colombia a través de las acciones de los formadores; Por su parte, Ribeiro *et al.* (2021) en **CE.83** analizan las reflexiones de tres profesores sobre los conocimientos y prácticas sobre la enseñanza de CTSA experimentando un proceso de reflexión guiada y sus posibles vínculos con las acciones del investigador-formador.

b) La práctica del formador en disciplinas didácticas o asociadas a la práctica como componente curricular:

Los profesores Vieira y Souza (2007) en **CE.14**, analizan las situaciones argumentativas de un formador que aborda cuestiones de la Naturaleza de la Ciencia en la formación inicial de profesores de Física. En **CE.32**, los profesores Viana, Munford y Moro (2011) investigan en las prácticas de una formadora de un curso de Laboratório de Ensino de Patologia los saberes movilizados alrededor de la relación teoría práctica. En **CE.37**, los profesores Nonenmacher, Pansera y Del Pino (2013) investigan el desarrollo de prácticas profesionales integradas para la constitución

del profesor reflexivo en un curso de Licenciatura en Química. En **CE.50**, Fernandes y Dessotti (2016) se analiza la práctica desarrollada con estudiantes de Licenciatura en Ciencias biológicas de una profesora co-formadora que acompañó el proceso de formación de estos licenciandos en una escuela pública. Por último, en **CE.71**, Vieira, Centa y Terrazzan (2019) analizan la práctica de una formadora de profesores de Física que actúa como supervisora del estágio curricular (espacio de formación en la práctica) en Brasil. Todas estas prácticas ocurren en el contexto de la formación inicial de profesores de Física y llama la atención la problematización de la relación escuela-universidad y, por tanto, la propuesta de colaboraciones para hacer frente a una racionalidad técnica en la formación sobre la práctica.

c) La práctica del formador en espacios de formación continuada. En esta subcategoría se encuentran trabajos donde las y los formadores intervienen en la formación continua de profesores en ejercicio. Así, en **CE.4**, Altarugio y Villani (2005) analizan la experiencia de una formadora de profesores de Química utilizando elementos del psicoanálisis, en la que la formadora analiza sus angustias y práctica. También en **CE. 17**, nuevamente la profesora Altarugio y Villani (2010) analizan el rol del formador en la formación continua, analizando las prácticas y discursos de una formadora “bien sucedida” en la formación inicial y continua.

En **CE.10**, Martins *et al.* (2005) caracterizan aspectos del discurso que son movilizados por un grupo de profesoras llamadas dinamizadoras, en un evento para formación de profesores de Ciencias. Usando un mapa de eventos para analizar las videgrabaciones, encuentran que el discurso producido es híbrido, con habitus lingüísticos de los campos científico y pedagógico. En **CE.16**, Pacca (2009) analiza un curso de formación continua con profesores en ejercicio que están enseñando en aula Electromagnetismo en la enseñanza media. Al analizar los relatos orales de los profesores en ejercicio, reflexiona sobre el propio planteamiento del curso en la formación continua. En la misma vía, Vieira, Reis y Saraiva (2009), en **CE.18**, caracterizan el papel del formador desde su función de supervisión y evalúan el programa de formación en el que se inscribe esta práctica, por parte de tres profesores que al finalizar, privilegian prácticas de enseñanza experimental. Por último, en **CE.38**, Silva (2013) procuró identificar acciones del formador asociadas a la alfabetización científica en la formación continua de profesores de Ciencias y Biología, desde sus interacciones discursivas. Concluyen que algunas acciones del formador se evidencian en la aparición de indicadores de Alfabetización científica en los profesores.

2.3.7.4 Reflexión sobre/en la práctica

En estas comunicaciones se desarrollan reflexiones sobre y/o en la práctica ya sea por la persona investigadora, o por otros que acompañan el proceso. Así, Aguiar (2009) en **CE.19** y Vidal y Membiela (2009) en **CE.20**, plantean una reflexión sobre la práctica experimental. En el primer caso, los profesores utilizan la estrategia de diario colectivo y el diálogo en roda para evaluar la planeación desarrollada en conjunto. En el segundo caso se evalúa una actividad de experimentación, con estudiantes en formación inicial, con el fin de mejorarlas. En **CE.23**, el profesor Abib (2009) recoge en un simposio, las reflexiones sobre varias investigaciones colaborativas entre profesores de la red básica y formadores para la formación de profesores, en donde resalta la importancia de estas colaboraciones y la investigación-acción en la formación. En **CE.58**, Matos (2017) analiza los sentidos atribuidos a la práctica a través de la pesquisa narrativa con formadores de profesores de Ciencias, egresados de un Programa de Maestría de Educação em Ciência en la Amazônia Legal. También, usando pesquisa narrativa en **CE.60**, Loureiro (2017) y en **CE.61**, Souza y Gonçalves (2017) reflexionan sobre sus prácticas en la enseñanza de la Química. Por otro lado, Miranda y Silveira (2019) en **CE.66** analizan la praxis de un formador de Química en la constitución de la identidad profesional y profesionalización docente. Guirado, Mazzitelli y Laudadio (2021) en **CE.73**, impulsan la valoración de estrategias de reflexión entre formadores de Argentina sobre sus actitudes e impactos en la práctica docente en la formación inicial. En esa misma línea, en **CE.82**, Vanegas-Ortega *et al.* (2021) desarrollan un *self-study* en donde exploran las posturas (in)variantes del desarrollo profesional docente de didactas de las Ciencias y las Matemáticas a través del análisis de su propia práctica en una comunidad de aprendizaje docente colaborativa. Por último, Silva *et al.* (2021) en **CE.86** desarrolla un proceso de reflexión sobre la evaluación formativa y reflexiva que formadores desarrollaron en el ámbito de la educación ambiental para establecer indicadores.

En estos trabajos, se resalta el uso de espacios colaborativos y estrategias que promueven la reflexión de los diferentes aspectos de la práctica docente de los formadores en la formación inicial y continua.

2.3.7.5 Modelos y metodologías para la formación de formadores de profesores de Ciencias Naturales.

En esta categoría se clasificaron en total once comunicaciones que desarrollan propuestas de modelos y/o metodologías para la formación de formadores de profesores de Ciencias. En primer lugar, los profesores Gallego Badillo y Gallego Torres (2005) en **CE.7**

desarrollan una comunicación teórica en la que examinan los fundamentos y objetivos que podrían guiar la formación de Didactas de las Ciencias en Suramérica que se caracteriza por la diversidad étnica y la multiculturalidad. Por tanto, en el 2005 proponen la creación de una red de investigadores y formadores, así como el fortalecimiento de las revistas y posibilidades de intercambios como elementos necesarios para consolidar una línea de formación en la región. En **CE.8**, Oliveira, Bozzini y Freitas (2005) y **CE.22**, Rodrigues Ribas y Abib Alves ([s. d.]) desarrollan propuestas con enfoque colaborativo entre la escuela, con profesores en ejercicio y la Universidad, el primero en el marco de un proyecto de investigación y el segundo incluye las *Directorias de Ensino do Estado de São Paulo*.

Por otro lado, el profesor Pérez (2005) en **CE.11**, desarrolla una propuesta de formación para y con estudiantes de un master en docencia de la Química, en el que a través de la didáctica de la modelación rediseñan dos asignaturas de un programa de formación inicial en enseñanza de la Química. En el mismo ámbito de enseñanza de la Química Universitaria, el profesor García (2009) en **CE.25**, narra la experiencia de constitución de una comunidad de desarrollo profes

Por otro lado, en **CE.12** Gomes y Caldeira (2005), analizan las condiciones que mejor se ajustan al desarrollo de una propuesta de un modelo de red para la formación inicial en la que se vinculan orientador de escuela, estudiantes y formador haciendo uso de Tics, para la práctica reflexiva. Hoffmann y Delizoicov (2015), en **CE. 43**, analizan en 171 currículos de programas de posgraduación de las tres grandes áreas de Ciencias Biológicas definidas por CAPES em Brasil, la presencia de disciplinas que discutan elementos pedagógicos. Encuentran que el 53% de estos cursos no cuenta con disciplinas- asignaturas asociadas a la formación pedagógica. Por tanto, sugieren una mayor integración y diálogo tanto entre profesores de disciplinas científicas específicas y pedagógicas como con la Educación Básica. En **CE.56**, nuevamente Hoffmann y Delizoicov (2017) discuten el potencial formativo que puede tener para los egresados de los programas de posgraduación el espacio denominado “Estagio de docencia”, sugiriendo una integración mayor con el proyecto pedagógico del curso y en diálogo con diversos colectivos para atender la complejidad de este proceso que usualmente es visto solo como una obligación de los becarios.

En **CE.59**, Santos Fernandes y Marques (2017) presentan un artículo teórico donde analizan posibilidades de procesos formativos para el desarrollo profesional de formadores de profesores citando diversos casos de programas e iniciativas como el Grupo de Apoio Pedagógico (GAP Central) en Brasil, asesorías pedagógicas universitarias en Argentina, entre

otras y concluyen que el locus del formador debe ser la escuela. En la misma vía, en **E.70** los profesores Machado y Marques (2019) analizan las contribuciones de un programa de formación de maestría en enseñanza de la Física a través de un levantamiento de disertaciones y bajo la pregunta “*quem é responsável pela formação dos formadores de professores?*” concluyendo que no existe un único responsable de la formación de los formadores y si un reconocimiento del “ser profesor” en diferentes contextos siendo el programa de maestría un espacio de diálogo entre con profesores-maestrandos. Para finalizar, Ortega Quevedo *et al.* (2021) en **CE.87** desarrollan un autoestudio en el que exploran las (in)variantes del desarrollo profesional de los profesores de Ciencias y Matemáticas a través del análisis de su propia práctica en una comunidad colaborativa de aprendizaje docente y en **CE.88** del 2021, Palomera, et al. (2021) describen el proceso de evaluación por pares de un instrumento diseñado para determinar las relaciones de poder expresadas en las concepciones y prácticas de enseñanza de formadores de profesores y el clima institucional.

Para finalizar, la riqueza de enfoques, problemáticas y abordajes sobre el formador de profesores de Ciencias Naturales en los tres contextos analizados: global, iberoamericano y brasilero, muestra, por un lado, la relación entre contextos-políticas y programas de formación que determinan los alcances y escenarios de práctica de las y los formadores de profesores. También en estos contextos se generan problemáticas diferentes, como es el caso en Latinoamérica donde los programas de formación inicial de profesores tienen formadores y docentes universitarios de disciplinas específicas que no se reconocen como formadores y más como científicos, pero que también presentan dificultades para conciliar el tripe universitario (docencia, extensión e investigación).

Se resalta la cantidad de estudios que problematizan los modelos de formación en posgrado, en la que la reflexión sobre la identidad del formador y su desarrollo profesional es central y vista desde su complejidad. Además, los estudios sobre la práctica y la reflexión en la práctica de las y los formadores muestran un camino promisorio para transformar las prácticas y los espacios institucionales en los que es necesario avanzar en políticas para la formación y reconocimiento de las y los formadores.

2.3.8 Algunos caminos que aún podemos trillar en la investigación sobre formadores de profesores de Ciencias

Para cerrar esta revisión sistematizada se aborda la pregunta ¿Qué aspectos relacionados a los formadores de profesores de Ciencias Naturales aún requieren ser investigados? Estas consideraciones sobre los caminos que aún se deben trillar en la investigación sobre formadores de profesores de Ciencias, se establecen en relación con líneas temáticas que el campo de

investigación en Enseñanza de las Ciencias ha venido consolidando y que se reflejan en las líneas temáticas de los eventos. A continuación, se presenta el Cuadro 7, en donde se muestran estas líneas temáticas para los tres eventos analizados en esta revisión sistematizada y uno más, el Encuentro Pesquisa Ensino de Física (EPEF) en Brasil.

Cuadro 7– Líneas temáticas de cuatro eventos del área de Enseñanza de las Ciencias en Iberoamérica

ENPEC- BR	CIFPC-COL	CIDC-ES&P	EPEF-BR
1) Ensino e aprendizagem de conceitos e processos científicos		1) Aprendizaje de las Ciencias.	1) Ensino, aprendizagem e avaliação em Física
2) Formação de Professores	1) Formación de profesores y su relación con otras educaciones:	2) Educación científica en contextos formales en Educación Secundaria	2) Formação e prática profissional do professor de Física
3) História, Filosofia e Sociologia da Ciência	2) Formación de profesores y su relación con: historia, epistemología y sociología de las Ciencias.	3) Historia y Naturaleza de la Ciencia.	3) Filosofia, História e Sociologia da Ciência e o ensino de Física
4) Educação em Espaços não-formais e Divulgação Científica		4) Educación científica en contextos no formales e informales	4) Comunicação em práticas educativas formais, informais e não formais e o ensino de Física:
5) Educação Ambiental e Educação do Campo		5) Educación para la sostenibilidad	5) Tecnologias da informação e comunicação e o ensino de Física
3) Educação em Saúde e Educação em Ciências		6) Medio ambiente y salud en la educación científica.	
4) Linguagens e Discursos	4) Formación de profesores en relación con: comunicación en Ciencias, discurso y argumentación; y modelos y modelización.	7) Uso de pruebas en la argumentación	6) Linguagem e Cognição no ensino de Física
5) Educação CTS/CTSA e Alfabetização Científica e Tecnológica		8) Educación científica en contexto y controversias sociocientíficas.	7) Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente no ensino de Física:
6) Diferença, Multiculturalismo, Interculturalidade	5) Formación de profesores y educación en Ciencias para: la ciudadanía, la paz, los contextos rurales; la diversidad, inclusión, multiculturalismo, interculturalidad y género	9) Perspectivas culturales, sociales y de género en la educación científica y tecnológica	8) Equidade, inclusão, diversidade e estudos culturais e o ensino de Física
7) Processos, Recursos e Materiais Educativos	6) Formación de profesores y conocimiento escolar.	10) Diseño, implementación y evaluación de programas y propuestas didácticas.	Didática, Currículo e inovação educacional no ensino de Física
8) Políticas Educacionais e Currículo	7) Formación de profesores y políticas educativas, gestión educativa y del conocimiento	11) Educación científica en contextos formales en Educación Infantil y Educación Primaria	10) Políticas Públicas em Educação e o ensino de Física

ENPEC- BR	CIFPC-COL	CIDC-ES&P	EPEF-BR
9) Questões Teóricas e Metodológicas da Pesquisa	8) Formación de profesores y metodologías de la investigación en educación en Ciencias; y relaciones entre docencia e investigación.	12) El dominio afectivo en la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias.	11) Questões teórico-metodológicas e novas demandas na pesquisa em ensino de Física
	9) Formación inicial y continua de profesores	13) Formación inicial y permanente de profesorado de Educación Secundaria y Universidad	
		14) Educación científica en la universidad	
		15) Formación inicial y permanente de profesorado de Educación Infantil y Educación Primaria.	

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se evidencia en el cuadro anterior, se encuentran temáticas coincidentes y que apuntan a un horizonte de formación inicial, continua, permanente y en diferentes contextos, niveles. Por tanto, las y los formadores de profesores de Ciencias Naturales requieren espacios y programas de formación donde estas cuestiones sean trabajadas, en la interacción con diferentes colegas, formadores, espacios, etc.

Para esta tesis en particular, llama la atención la temática asociada a la Historia, Filosofía, Sociología y Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología, que en los cuatro eventos aparece descrita, y que va al encuentro de lo mencionado por Nardi y Almeida (2007) al entrevistar a investigadores del área de investigación en Enseñanza de las Ciencias, donde menciona que:

Entre essas características foi várias vezes citada a inter ou multidisciplinaridade da área, bem como seu caráter de pesquisa aplicada ou de pesquisa e desenvolvimento, o que, segundo os pesquisadores, justificaria sua classificação como Ciências Humanas Aplicadas ou Ciências Sociais Aplicadas. Notamos também, nas entrevistas, a referência a outros temas, como a posição da Educação Ambiental e da Geologia na área; a forte presença da História e Filosofia da Ciência na pesquisa em ensino de Ciências; e a importância das Faculdades de Educação na contribuição com os referenciais teóricos para a área e para a formação dos primeiros pesquisadores no Brasil (NARDI; ALMEIDA, 2007, p. 219)

Por tanto, se esperaríamos que, en la formación y prácticas de formadores de profesores de Ciencias, también se pueda investigar los aportes de la Historia, Filosofía, Sociología y Naturaleza.

Por otro lado, uno de los tópicos menos presentes en las investigaciones analizadas tiene que ver con la evaluación en la formación inicial y continua de profesores de Ciencias (DEUS;

GUIMARÃES, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019). En ese sentido, es necesario reconocer las concepciones, prácticas, usos, tipos de instrumentos que las y los formadores utilizan para evaluar en diferentes asignaturas. Así mismo, se encontraron pocas investigaciones sobre cómo los formadores abordan la enseñanza de contenidos disciplinares específicos, pues se hallaron en mayor grado, investigaciones asociadas a temáticas y/o metodologías asociadas a la Enseñanza de las Ciencias. Igualmente, también faltan investigaciones asociadas a innovaciones, análisis y/o evaluaciones de propuestas curriculares en programas de formación inicial y posgradual.

En las investigaciones analizadas, se encontraron pocas donde el tema fuese las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Después de dos años de trabajo remoto en el que formadoras y formadores tuvieron que hacer uso de plataformas, aplicaciones, etc, por cuenta de la pandemia, se espera que las críticas, análisis de experiencias, prácticas, innovaciones, reverberen en investigaciones con formadores.

Por último, es necesario avanzar en investigaciones y propuestas de políticas dirigidas a la formación de formadores donde se contemple la complejidad de los roles y la constitución de una identidad profesional asociada a un desarrollo profesional en comunidades. Uno de los elementos más importantes para caminar en esta dirección, es el reconocimiento de la complejidad de la práctica y su relación con el contexto. Así, las investigaciones que vienen investigando la práctica y mostrando la praxis del formador de profesores de Ciencias Naturales, comunican dilemas, tensiones, necesidades, resistencias e innovaciones que pueden ampliarse para diseñar políticas que sistematicen y avancen en un acompañamiento y valoración de las y los formadores de profesores de Ciencias Naturales.

2.4 Planteamiento del problema de investigación

Al inicio de este capítulo se planteaba el interrogante ¿Quiénes son los formadores de profesores de Ciencias? Y por tanto en la revisión sistematizada se tomó como sujeto de investigación al formador de profesores de Ciencias. Como detalla Vaillant (2002) se hace difícil caracterizar el formador de profesores en Latinoamérica debido a los diferentes modelos de formación, culturas, políticas y condiciones históricas y educativas diferentes que existen en la región, lo cual se refleja en la poca claridad de las “políticas referidas a los formadores de profesores” (VAILLANT, 2002, p. 8). Sin embargo, lo recogido en la revisión sistematizada podría dar algunas luces sobre los avances en reconocer al formador de profesores de Ciencias y delimitando tanto sus prácticas, dilemas, concepciones y desarrollo profesional.

En la investigación de Arredondo López (2007) se define a los formadores de profesores en un primer momento como: “[...] a los académicos dedicados a formar a otros docentes o profesionales de la educación, de manera inicial, continua o permanente; en otras palabras [...] este sector de académicos que han orientado su carrera profesional hacia la formación de otros adultos dedicados a la educación” (ARREDONDO LÓPEZ, 2007, p. 473).

Esta definición es similar a la de Mizukami (2006 apud BAPTISTA *et al.*, 2013) que menciona: “Los formadores son todos los profesionales envueltos en procesos formativos de aprendizaje de la docencia de futuros profesores o de aquellos que ya están desarrollando actividades docentes” (p. 3, traducción propia²⁰).

Ambas definiciones abarcan ámbitos de la docencia desde la formación inicial, continua y permanente, con lo cual se evidencia la complejidad de los saberes, conocimientos, discursos y prácticas que las y los formadores deben desplegar de acuerdo con los contextos en los que intervienen.

Desde las investigaciones en el contexto Latinoamericano que se analizaron en la anterior revisión sistematizada, se hizo evidente la división entre los formadores que se dedican a disciplinas asociadas a los componentes científicos (Física, Química, Biología, Matemáticas), que poco se reconocen como formadores de profesores de Ciencias y aquellos que están en disciplinas asociadas a la Didáctica y/o pedagogía, así como a disciplinas de práctica pedagógica. Esto unido a que la mayoría de los programas se desarrollan en Universidades y Centros Universitarios donde el tripe universitario: docencia- investigación-extensión genera tensiones en cuanto a las funciones, identidad y desarrollo profesional (FOLLMANN *et al.*, 2017; SUART; ZULIANI; CARBONE, 2017).

Las propuestas de modelos e investigaciones sobre la praxis de los formadores que resultaron de la revisión sistematizada evidencian una tendencia hacia procesos de co-formación y la necesidad de **constituir comunidades de práctica** que, por un lado, contribuirían a romper con la soledad del formador y generar redes en donde se comparten dilemas, prácticas, discursos, artefactos y se contribuye a los procesos de desarrollo profesional constante y permanentemente en contexto de las y los formadores. Estas comunidades podrían contemplar, desde una perspectiva complementaria y compleja, los aportes de las diversas

²⁰ Os formadores são todos os profissionais envolvidos nos processos formativos de aprendizagem da docência de futuros professores ou daqueles que já estão desenvolvendo atividades docentes (MIZUKAMI, 2006, p. 3 apud BAPTISTA *et al.*, 2013, p. 3).

trayectorias formativas y contextos en los que los formadores desarrollan sus prácticas, por lo cual se podría avanzar hacia una racionalidad crítica en la formación inicial y relaciones no jerárquicas entre la escuela y la Universidad. Así mismo, “comprender que las necesidades de aprendizaje de los formadores de docentes abarcan múltiples dominios (psicológico, profesional, sociológico) y dimensiones (relacional, cognitiva, práctica y emocional), dada su amplia variedad de antecedentes y las diferentes etapas de la carrera” (HANUSCIN *et al.*, 2021) podría estimular la emergencia de programas y políticas de formación que impliquen modernizar las estructuras en la que los programas de formación inicial, continua y permanente de profesores de Ciencias se desarrollan. Por supuesto esto implica recursos, modelos contingentes contextuales y tiempo.

Otro de los problemas y discusiones emergentes en las investigaciones sobre formadores está relacionado con el conocimiento asociado a su práctica. Algunas investigaciones postulan el PCK como el conocimiento del formador de profesores; sin embargo, es necesario avanzar en esta discusión desde la comunidad de desarrollo profesional porque no es claro en que se diferenciaría del PCK que desarrolla un futuro profesor de Ciencias y si hay diferencias en qué consisten.

Un elemento constante en las investigaciones sobre el conocimiento y la práctica de las y los formadores está asociado a la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia. De hecho, la mayoría de los cursos de método que se analizaron, abordan cuestiones de naturaleza de la Ciencia y enseñanza basada en la indagación, dos paradigmas que, en el campo de la enseñanza de las Ciencias, junto con la formación en CTSA, han venido mostrando la urgencia de que el formador los tome como objeto de enseñanza y reflexión en la práctica.

Las investigaciones mencionaron los siguientes problemas asociados a la enseñanza de elementos de la Naturaleza de la Ciencia en los formadores:

- a) En un estudio realizado por Karakas (2008 apud DONOHUE, BUCK Y AKERSON, 2020) se evidencia que algunos profesores universitarios estaba más preocupados por cubrir los contenidos tradicionales y la mayoría tenía concepciones ingenuas sobre la naturaleza de la Ciencia, *considerando que no hay tiempo en los cursos de Ciencias para nada más que el contenido tradicional.*
- b) La elección del contenido de la NdeC a enseñar depende de la comprensión personal de los formadores sobre el concepto de NdeC, sus visiones sobre enseñanza de la NdeC y creencias de filosofía general y estos elementos están moldeados por el contexto sociohistórico, político, religioso y cultural en el que están los formadores.

- c) El desarrollo de enfoques CTSA críticos está asociado a debates sobre NdeC y NdeT, siendo esta última uno de los puntos críticos.
- d) Pocos formadores y profesores de Ciencias mencionan la necesidad de enseñar NdeT explícitamente.

Como se evidencia, la enseñanza de aspectos de la naturaleza de la Ciencia y la tecnología, son problemáticos en la práctica de las y los formadores, pues se asocian a asignaturas de Historia, Epistemología, Sociología y/o Naturaleza de la Ciencia que tienen un espacio restringido en los diseños curriculares, cuando se tienen. Además, atendiendo a la división de los formadores por asignaturas y/o formaciones u objetos de investigación, cabe preguntarse: ¿A quién le corresponde enseñar sobre NdeCyT en la formación inicial, continua y permanente, ¿cómo y en qué momento del desarrollo curricular?

Así mismo, en la revisión sistematizada se evidenció una falta de investigaciones asociadas a contenidos disciplinares claves para la formación de profesores de Ciencias, lo que puede ser producto de la separación entre los formadores de acuerdo con unidades académicas, esto es: Física enseñada por físicos, Matemáticas impartidas por matemáticos y aspectos de la Didáctica y Pedagogía trabajados por didactas y pedagogos. Más allá de los cuestionamientos asociados a las organizaciones de las universidades y centros educativos, esta separación podría tener un potencial para la formación de los formadores y la formación inicial, en la creación de una comunidad de práctica y desarrollo profesional donde circulen diferentes saberes, conocimientos y discursos. Esto se alinea con la complejidad de la tarea de formación y la imposibilidad de que una persona pueda enseñarlo todo. Sin embargo, tal como se ha señalado anteriormente, para utilizar este potencial es necesario apuntar a la construcción de políticas, espacios y prácticas en las que las y los formadores se encuentren para construir en conjunto.

En el caso particular de la formación de profesores de Física, múltiples investigaciones han mostrado el potencial de vincular episodios históricos y la Historia de la Ciencia para movilizar cuestiones de naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (ACEVEDO DÍAZ, 2010; ACEVEDO-DÍAZ; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2017; ADÚRIZ-BRAVO, 2005; GARCÍA CARMONA; ACEVEDO, 2016; MOURA, 2012). Así, particularmente, la Historia de la Óptica tiene un potencial para la formación de profesores desde esta perspectiva pues contiene episodios históricos que marcaron cambios de paradigma en la Física y discusiones de diversos elementos de la NdeC y NdeT. Al respecto, Stefanidou y Psoma (2019) citando a Galili (2014) y Mihás (2008), mencionan: “La historia de la óptica es un campo fructífero de ideas

sobre la luz y la visión. Se ha publicado una gran cantidad de trabajos de investigación sobre el enfoque histórico de la enseñanza de la reflexión, la refracción y la naturaleza de la luz y la visión” (STEFANIDOU; PSOMA, 2019, p. 158, traducción propia²¹).

En este caso, el potencial de la Historia de la Óptica se enfoca en la posibilidad de ser un generador de diálogo entre las y los formadores de profesores de Física, en el que aparecen prácticas, sentidos, concepciones y posibilidades de construir una propuesta conjunta que trascienda una disciplina específica de Historia de las Ciencias para la Enseñanza de las Ciencias. Esto se desarrollará en el capítulo 2.

2.4.1 Preguntas de investigación

¿Cuáles son los principales aportes de la HFSC para los formadores de profesores de Física y qué discursos movilizan sobre la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Física?

Preguntas auxiliares

¿Qué discursos son movilizados por los formadores de profesores sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores de Física?

¿Cuáles son las contribuciones de la Historia, filosofía y Sociología de la Ciencia para los formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial?

¿Cómo estructurar una propuesta para la formación de formadores de profesores de Física que tenga en cuenta las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la óptica?

Objetivo general de investigación

Constituir una propuesta para la formación de formadores de profesores de Ciencias que considere los discursos de los formadores de profesores de Física y las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la Óptica.

Objetivos específicos da investigación

Interpretar los discursos construidos en diálogo con formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial.

²¹ History of Optics is a fruitful field of ideas regarding light and vision. A large amount of research papers has been published regarding the historical approach to teaching reflection, refraction, and the nature of light and vision (GALILI, 2014; MIHAS, 2008 apud STEFANIDOU; PSOMA, 2019, p. 158).

Considerar las contribuciones de la HFSC en la enseñanza de la Óptica para la formación de formadores de profesores de Física.

Proponer elementos para la planeación de disciplinas y otros componentes curriculares que consideren los discursos de los formadores de profesores de Física y las contribuciones de la HFSC

3 HISTORIA, FILOSOFÍA Y SOCIOLOGÍA DE LAS CIENCIAS EN LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE FÍSICA. PROBLEMAS Y NUEVAS PROPUESTAS DE ABORDAJE

En este capítulo se abordan algunos elementos claves de la relación entre Historia, Filosofía y Sociología de las Ciencias (HFSC) y Formación de profesores de Ciencias (FPC), desde una perspectiva sociocultural y crítica. Se considera, a manera de hipótesis, que este campo de investigación y formación tiene el potencial de producir nuevos discursos, redes, prácticas, artefactos y propuestas curriculares dentro de la comunidad de desarrollo profesional de las y los formadores, esto es, la Historia de las Ciencias puede potenciar el diálogo entre los sujetos encargados de la formación inicial y continua de profesores de Física al cuestionar el “qué y el cómo”, lo que podría permitir avanzar en propuestas de formación más acordes con los contextos donde se desarrollan y las necesidades actuales. El capítulo también teoriza sobre el papel de la HFSC en la configuración de nuevas organizaciones curriculares para el aula a través de episodios históricos y una Naturaleza de la Ciencia desde la perspectiva de “Whole Science” que se propone ser extendida a la Naturaleza de la Tecnología. Para finalizar, se recogen algunas investigaciones sobre la Historia de la Óptica en la Formación de profesores de Física y en la enseñanza de las Ciencias, destacando algunos casos que hacen parte de la Óptica Astronómica.

3.1 Algunos problemas en la formación de formadores de Ciencias: el reto de formar profesores de Ciencias en y sobre Ciencias

En el capítulo anterior brevemente esbozamos algunos problemas asociados a la ausencia de contenidos y reflexiones sobre la Naturaleza de la Ciencia en la práctica y en la formación de formadores. En tal sentido, es importante ampliar esta discusión y afinar el problema de investigación abordado en esta tesis, esto es, ¿A que nos referimos cuando hablamos de saber sobre y de Ciencias? ¿Qué papel tiene la HFSC en estos saberes sobre y de las Ciencias?

Matthews (2017) al discutir la salud filosófica de los maestros de Ciencias mencionaba que las nociones de historia y filosofía de la Ciencia que ellos tienen son las que aprenden en sus propias clases de Ciencia y rara vez se examinan o se refinan en forma consciente, por tanto, la *epistemología por osmosis* no es un buen elemento para la práctica y el desarrollo profesional de los maestros (MATTHEWS, 2017, p. 536). En la misma vía, Aduriz-Bravo, al analizar el problema de la formación en epistemología que requiere un profesor de Ciencias, menciona que

uno de los problemas es la formación de sus formadores, pues las personas que actualmente están a cargo de estas asignaturas hacen parte de una “generación-sándwich” (ADÚRIZ-BRAVO, 2017, p. 60), que tuvo una formación en la que estas cuestiones estuvieron poco presentes. Reconociendo que los formadores que tienen la tarea de enseñar epistemología a los profesores de Ciencias son un colectivo variado, cuestiona: ¿deberían ser los epistemólogos los encargados de enseñar su campo de especialidad, siguiéndolo muy de cerca, o podríamos los didactas de las Ciencias asumir esta tarea? (ADÚRIZ-BRAVO, 2017). Al inclinarse por la segunda opción, surgen problemas propios de la formación de los formadores, como es la tradición de leer y comentar textos epistemológicos sin conectar con problemas reales de la práctica docente, o “la escasa integración de nuestra asignatura con el resto del currículum de formación docente, la falta de adecuación del programa al público destinatario o la carencia crónica de materiales y textos de calidad” (ADÚRIZ-BRAVO, 2017, p. 55).

Como se evidencia, la formación epistemológica de los futuros profesores se da de manera ambiental a través de asignaturas donde se enseña la “Ciencia”, pues en aquellas donde se trabajan contenidos específicos de la epistemología de las Ciencias, poco se logra conectar con problemas reales asociados a la construcción de conocimiento científico. Esta desarticulación puede estar contribuyendo a que la distancia entre lo que se enseña en la Universidad y lo que se requiere en la escuela, sea mayor y tiene múltiples actores: formadores de las disciplinas científicas, didácticas, pedagogos, otros profesionales de psicología, historia de las Ciencias, filósofos, entre otros. Por tanto, si consideramos, como menciona Matthews (2017, p. 522) que “para que las y los maestros de Ciencias puedan ser auténticos educadores, necesitan habilidades apropiadas a su materia, destrezas fundamentales -sobre todo filosóficas- y conocimientos de historia y filosofía de la Ciencia”, en diálogo con otros saberes, entonces la pregunta por el cómo se desarrolla esta formación es fundamental. Según Adúriz-Bravo (2005; 2017), la formación de profesores requiere el desarrollo de una competencia metacientífica, que:

les permitiría (a los profesores que estamos formando) –al habilitarlos para “soldar” íntimamente contenidos científicos, epistemológicos y didácticos– tomar la Ciencia a enseñar como objeto de estudio riguroso. Así, los conceptos epistemológicos aprendidos pasarían a funcionar a modo de genuinas herramientas intelectuales, utilizadas productivamente para llegar a entender “qué es esa cosa llamada Ciencia” (Chalmers, 1976), condición sine qua non para mejorar sus prácticas de enseñanza (ADÚRIZ-BRAVO, 2005; 2017), p. 60).

Así, al asumir en esta tesis el reto planteado por Adúriz-Bravo (2017) de que la epistemología que se enseña a las y los profesores tenga un rol funcional en la práctica docente,

consideramos que se podría empezar construyendo ese rol funcional en la práctica de las y los formadores de profesores de Ciencias y esto es un reto que no se puede asumir individualmente.

A continuación, discutimos algunos elementos de la Historia de las Ciencias desde una perspectiva sociocultural y analizamos el enfoque de Ciencia integral, que consideramos en esta tesis, podría contribuir a generar propuestas para desarrollar en la formación de formadores.

3.2 Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias desde una perspectiva sociocultural

La adopción de la perspectiva sociocultural en la enseñanza de las Ciencias por formadores, profesores de Ciencias y científicos, desde los años ochenta y noventa principalmente (LEMKE, 2001), ha generado propuestas y comprensiones que se alinean a posturas críticas y humanizadoras de la educación y la Ciencia en su conjunto. Así, cuando se habla de esta perspectiva y/o enfoque en la enseñanza de las Ciencias, lo que se denota es una comprensión de la Ciencia, su enseñanza e investigación como actividades humanas y sociales, enmarcadas en instituciones y atravesadas por aspectos culturales, que se oponen a una visión de la enseñanza individualista y netamente cognitiva, estableciendo un puente entre lo social y lo psicológico (AVILA, 2017). Esto implica reconocer que existe una influencia de los aspectos sociales y culturales en la forma en que se piensa, dice, teoriza y representa algo, así como una establecer una mirada crítica sobre la forma en que las organizaciones, grupos e individuos construyen sentidos, enmarcados en instituciones como la familia, la escuela, la Universidad, la iglesia, el internet, entre otras. Frente a esto Lemke (2001) menciona:

La perspectiva sociocultural de la educación científica es escéptica y crítica. Su creencia más básica es que no sabemos por qué actuamos como lo hacemos; sólo conocemos algunas razones locales en una determinada escala de tiempo y dentro de una gama limitada de contextos. No conocemos todas las demás razones que surgen del funcionamiento de nuestras acciones en contextos mucho más amplios y distantes y en escalas de tiempo más largas. Como perspectiva de investigación, este punto de vista trata de dilucidar los problemas que surgen de nuestra visión limitada de los sistemas más amplios en los que habitamos, y de identificar cómo nuestras acciones funcionan también en escalas mucho más amplias (LEMKE, 2001, p. 296, traducción propia²²).

²² A sociocultural perspective on science education is skeptical and critical. Its most basic belief is that we do not know why we act as we do; we only know a few local reasons on a certain time scale and within a limited range of contexts. We do not know all the other reasons that arise from the functioning of our actions in far larger and more distant contexts and on longer time scales. As a research perspective this view seeks to elucidate the problems that arise from our limited view of the larger systems we inhabit, and to identify just how our actions do also function on many larger scales.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde esta perspectiva también se pone en discusión lo verdadero y lo objetivo, pues las ideas, prácticas y saberes se enmarcan en un tiempo histórico que generan sistemas de creencias y valores, discursos y prácticas específicas y que se desarrollan a través de la interacción social y en comunidades, influenciando las formas en que se llega a saber, sentir, pensar, etc. y, por tanto, el conocimiento. Así, preguntas como: ¿Quién hace y aprende Ciencias? ¿cómo influyen las creencias políticas, religiosas, culturales, cotidianas en la forma en que se hace y aprende Ciencias? ¿cuáles son los valores que la Ciencia como institución moviliza? ¿por qué es necesario aprender Ciencias? son abordadas por la investigación en enseñanza de las Ciencias, desde esta perspectiva, enfocando el impacto no solo en el individuo sino en la sociedad.

Para García Arteaga (2008), la perspectiva sociocultural de las Ciencias impactó también la forma de comprender la Historia de la Ciencia (HC) por parte de los historiadores. Citando el trabajo de Kuhn como referente de los estudios sociales de la Ciencia, menciona:

Kuhn abrió el panorama al considerar que no se debe mirar el pasado con los ojos del presente, esto es, los conceptos construidos en el pasado responden a formas de ver el mundo en cada época y en cada lugar, y no es que evolucionen linealmente, sino que surgen nuevas formas de ver y comprender la naturaleza, por lo tanto, otros conceptos surgen a tal punto que resultan ser incommensurables con los anteriores. (GARCÍA ARTEAGA, 2008, p. 16).

Efectivamente, las ideas de Kuhn, influenciadas por los trabajos de Ludwik Fleck, marcan una comprensión del progreso de la Ciencia, contextual y ubicado socialmente, en el que se cuestionó la visión tradicional de una Ciencia aséptica de cuestiones sociales, políticas y culturales. En palabras de Lemke (2001):

La opinión de que la Ciencia representa una aproximación única al conocimiento, desconectada de las instituciones sociales, de sus políticas y de creencias y valores culturales más amplios, fue fuertemente cuestionada por la investigación en la historia de la Ciencia (por ejemplo, Shapin y Schaffer, 1985), la sociología de la Ciencia (por ejemplo, Latour, 1987; Lynch y Woolgar, 1990), y los estudios de etnociencia en antropología cultural (por ejemplo, Hutchins, 1980), y los estudios contemporáneos de la Ciencia (por ejemplo, Haraway, 1989, 1991, 1999) (LEMKE, 2001, p. 298, Traducción propia²³).

En Latinoamérica también se encuentran contribuciones en esta perspectiva, con los trabajos de investigadores en enseñanza de las Ciencias como son Antonia Candela, Edwin García, Adela Molina, Cristiano Barbosa de Moura, Andreia Guerra, con enfoques

²³ The view that science represents a uniquely valid approach to knowledge, disconnected from social institutions, their politics, and wider cultural beliefs and values was strongly challenged by research in the history of science (e.g., Shapin & Schaffer, 1985), the sociology of science (e.g., Latour, 1987; Lynch & Woolgar, 1990), and ethnoscience studies in cultural anthropology (e.g., Hutchins, 1980), and contemporary science studies (e.g., Haraway, 1989, 1991, 1999).

etnográficos, críticos, interculturales, entre otros. Estos investigadores han ahondado en el carácter humanizador y crítico de esta perspectiva, ampliando las discusiones a cuestiones de racismo, género, decolonialidad, el papel de las emociones y la lucha contra la desigualdad social, entre otros.

Moura (2021), retomando algunos postulados de Michael Matthews y Roberto Martins, plantea la necesidad de avanzar hacia una HC desde una perspectiva sociopolítica, que podría comprenderse como un desdoblamiento de las perspectivas socioculturales para la EC y que venían popularizándose en las décadas pasadas (TOLBERT; BAZZUL, 2017 apud MOURA, 2021, p. 1.162), pues al parecer, objetivos epistemológicos y conceptuales no son suficientes para alcanzar la “*justicia social y el bienestar colectivo*” (MOURA, 2021, p. 1.159).

Este último objetivo es fundamental y entra en resonancia con el propósito de esta investigación, pues si bien la HFSC amplía nuestra comprensión sobre la empresa científica en diferentes épocas, cabe preguntarse, ¿para que esta comprensión? ¿cuál es el objetivo que se apunta al formar profesores y estudiantes con una visión compleja de las Ciencias en la sociedad? O como bien preguntan Guerra y Moura (2022): “*qual o papel da educação em ciências na sociedade contemporânea?*” (p. 2).

La alfabetización científica y los estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) apuntaron a un ejercicio de la ciudadanía crítica y para la toma decisiones racionales en diferentes ámbitos de la vida. Sin embargo, de cara a los problemas actuales que enfrentamos como humanidad, como son la crisis ambiental, el hambre, la desigualdad social y la guerra, entre muchos otros, puede esto no ser suficiente. De hecho, Santos (2009) menciona la importancia de avanzar en una concepción de la Enseñanza de las Ciencias humanista con una función sociopolítica, que aporte en la transformación de la sociedad aquejada por profundas desigualdades sociales. Esta función sociopolítica de la educación en Ciencias, desde una filosofía freireana, implica una acción y reflexión en la práctica, es decir, una organización y acción socio-política, que trascienda lo que llama Moura (2021): “*críticos de sillón*”.

Es claro que esta comprensión de la Ciencia, la investigación y la enseñanza de las Ciencias requiere ser discutida, enseñada y articulada a programas de formación inicial, continua y permanente, pues como menciona Lemke (2001), no todos los programas cuentan con espacios para formar profesores en esta perspectiva y requiere algo más que una educación ambiental. En ese sentido, afirmamos que esto también aplica para los programas de formación de formadores, es decir, se requiere discutir, enseñar y articular esta perspectiva a programas

de formación de formadores, para impactar los currículos de los programas de posgraduación en educación en Ciencias.

En el siguiente apartado se discute la relación entre la Historia de las Ciencias y la Formación de profesores desde una perspectiva sociocultural y sociopolítica.

3.2 Historia de las Ciencias en la Formación de profesores: de una perspectiva sociocultural a una perspectiva sociopolítica

La investigación de libre docencia desarrollada por Nardi bajo supervisión de Almeida (2005), en la que entrevistó a investigadores del área de Enseñanza de las Ciencias en Brasil, arrojó, entre sus múltiples resultados, que la Historia y la Filosofía de las Ciencias (HFC) ha tenido un vínculo importante con la enseñanza de las Ciencias desde sus inicios, en la formación del área de investigación y formación, y es una de sus características de investigación más importantes. Esto se corresponde con la creación de sociedades, grupos, eventos y temáticas que hasta la fecha existen en Historia, Filosofía y Sociología de las Ciencias para la Enseñanza de las Ciencias, en adelante HFSC&EC y que se refleja en la alta producción de artículos, libros y eventos a nivel Latinoamericano y global. En ese orden de ideas, Dias (2008) en su tesis titulada *“História y Filosofia das Ciências na pesquisa em ensino de Ciências no Brasil: manutenção de um mito?”* destacó los aportes de esta línea de investigación al desarrollo del campo de investigación en Enseñanza de las Ciencias en Brasil y analizó cómo se establecieron los vínculos entre la HFC con la EC a través de dos ideas: a) que el aprendizaje de las Ciencias se vería beneficiado con el uso de la HFC; b) es necesario que los profesores conozcan de HFC para hacer transposición en las aulas. Ella menciona:

A incorporação dos resultados destas pesquisas (os textos históricos e seu uso nas experiências didáticas) nos cursos de capacitação de professores e nos cursos de formação inicial constituiu um meio de divulgação bastante eficiente sobre a fertilidade do acoplamento da HFC com o Ensino de Ciências (DIAS, 2008, p. 59).

Esto va al encuentro de lo planteado por Matthews (2017), quién afirma que:

la Historia y la filosofía de la Ciencia puede mejorar la formación de maestros al ayudarles a desarrollar una comprensión más rica y más auténtica de la Ciencia y de su lugar intelectual y social en el mundo. Esto tiene un efecto de derrama, puesto que existen muchas evidencias de que la epistemología de los maestros, o sus ideas sobre la naturaleza de la Ciencia, afectan la forma en la que dan clases, el mensaje que transmiten a los alumnos, y en última instancia, la epistemología de los alumnos mismos (MATTHEWS, 2017, p. 45).

Otra de las características es la presencia de personas con formaciones diferentes como físicos, químicos, biólogos, profesores provenientes de las facultades de educación, humanidades, entre otras, que *“podiam partilhar de uma linguagem comum”* (DIAS, 2008, p.

45). Sin embargo, aún persiste la creencia de que un profesor de Física tiene una formación de menor exigencia y calidad que un físico, por lo cual sabe poca Física. Encontrar un espacio de encuentro en el que se comparte un lenguaje común es fundamental para conocer y valorar la función social de cada uno de estos sujetos en la sociedad: el físico y el profesor de Física. Frente a esto, la profesora Ayala (1992, p. 7) mencionaba que “un profesor de Física requiere una sólida formación en esta disciplina, pero decididamente una formación diferente a la que se le da a un físico; y no porque sea de menor calidad sino porque ha de formarse para desarrollar un trabajo de intervención cultural”. Esta forma de comprender el rol del profesor de Física se alinea con la perspectiva sociocultural de la Enseñanza de las Ciencias, en el que el profesor es un sujeto que también construye conocimiento científico. En palabras de García Arteaga (2008, p. 23):

El maestro se reconoce a sí mismo como sujeto cognoscente capaz de intervenir en el desarrollo del conocimiento, transformarlo y enriquecerlo de acuerdo con sus necesidades particulares. Se pierde la relación de exterioridad y se entra en un plano en el que sus acciones son determinantes para la orientación de la enseñanza de las Ciencias en el contexto particular donde se desempeña.

Como se evidencia, desde una perspectiva sociocultural, el profesor que está en proceso de formación es un sujeto que construye conocimiento científico en unos marcos institucionales, culturales y políticos determinados, que determinan su comprensión de la Ciencia y su rol social. Como mencionaba Lemke (2001) los profesores y estudiantes requieren comprender que la enseñanza de las Ciencias va más allá del aula, se extiende a comunidades más amplias con culturas propias y tiene imbricaciones en lo cultural, social, económico y político de comunidades y culturas, pero este cambio de pensamiento no se da por una decisión racional sino que implica el quienes somos, como nos sentimos, es decir, es un proceso social con implicaciones sociales (LEMKE, 2001).

Lo anterior requiere una Historia, Filosofía, Sociología de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias, que, desde una perspectiva sociocultural, puedan mostrar múltiples visiones de la Ciencia y apuntar los aportes de su enseñanza a la sociedad.

En este sentido, se han desarrollado múltiples propuestas que se han concretado en la incorporación de asignaturas en los programas de formación de profesores, desde la formación inicial a la continua y que amplían los análisis de la relevancia y aportes de la HFSC en la formación de profesores. Un ejemplo de esto es el trabajo publicado por los profesores Izquierdo *et al.* (2016) en el libro “Historia, filosofía y didáctica de las Ciencias: aportes para la formación del profesorado de Ciencias” que plantean la pregunta ¿Por qué la H&F de la Ciencia puede interesar a los profesores?

Algunos porqués en clave de aportes se enlistan a continuación:

1) Proporciona contexto a los conocimientos emergentes y saca a la luz los aportes al conocimiento científico que no se han tenido en cuenta porque fueron desarrollados por colectivos poco relevantes 2) Sugiere preguntas desafiantes sobre la emergencia de entidades científicas, 3) Permite reconocer las ideas de los estudiantes al interpretar los fenómenos, 4) Ilustra la Naturaleza de la Ciencia (NdeC) al dejar en evidencia la complejidad de la actividad científica 5) Invita a leer buenas historias sobre “Hacer ciencia” 6) inspira nuevas estrategias de presentar temas complejos. (IZQUIERDO *et al.*, 2016, p. 14-15)

Como se puede ver, es una máxima en el campo de la enseñanza de las Ciencias y la formación inicial de profesores el reconocimiento de los aportes de la HFSC y podrían extenderse a la formación de formadores tanto en programas de formación de posgraduación como en la formación continua.

Como se mencionó anteriormente, desde una perspectiva sociopolítica de la HFSC en la EC, es posible pensar un rol de la Enseñanza de las Ciencias para la transformación social, el cuidado de la vida, el bienestar y la justicia social. En ese sentido, el profesor Moura (2021) plantea tres elementos más que considerar como justificación y/o propósitos para la inserción de la HFSC en la EC y que responden a la pregunta ¿Qué nuevas perspectivas pueden admitirse para la educación en Ciencias en perspectiva histórica? A continuación, se presentan estos cinco elementos:

Ajudar a compreender as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente como relações de co-produção, combatendo a visão de que o empreendimento científico seria uma “aventura desinteressada” no mundo do conhecimento. 2) Ajudar na discussão sobre os processos de construção de conhecimento, buscando afastar o mito do “Método Científico” universal e homogêneo que permitiria chegar a verdades, e investigando seus procedimentos e limitações para compreender sua variabilidade ao longo da história de acordo com as condições materiais e culturais de cada tempo e espaço. 3) Avaliar a participação do empreendimento científico na conformação de como hoje a sociedade se relaciona com a natureza. 4) Ajudar a compreender os processos de invisibilização de determinadas contribuições à ciência a partir de narrativas que reconheçam tais contribuições. 5) Auxiliar na busca por aproximações e distanciamentos entre as histórias que podem ser contadas sobre as ciências e as histórias de vida, condições sociais e aspectos das identidades dos estudantes (MOURA, 2021, p. 1.173).

Es probable que las dos primeras perspectivas no sean ajenas a las y los formadores de profesores de Ciencias Naturales, pues la investigación en HFSC en la EC ha producido una gran cantidad de investigación y discusión, al respecto puede verse la revisión sistemática de investigaciones hasta el 2011, realizada por Teixeira, Greca y Freire (2012) y Model, Soares y Leboeuf (2019) en Brasil. Sin embargo, con los otros tres elementos en los que se problematiza la relación con la naturaleza, con otras y otros, se hace relevante un ejercicio de análisis, discusión y construcción colectiva en el que se problematiza la aceptada idea de que la HC humaniza la EC, esto es ¿Hay una única forma de percibir la humanización de la EC?

(GUERRA; MOURA, 2022). Poder movilizar estas reflexiones en la formación inicial y continua de profesores, así como en la formación de formadores en programas de posgraduación, sería el primero de una serie de pasos para alejarnos de la postura de “intelectual de sillón” y avanzar en organizaciones y acciones sociopolíticas en donde la educación en Ciencias tiene un rol crítico, propositivo y político desde los contextos sociohistóricos y culturales en los que se desarrolla. En este sentido, una formación crítica y emancipatoria del profesor de Física pasa por cuestionar ¿Que significa ser crítico? E ir ampliando la pregunta a ¿crítico para? Y ¿crítico de? coordinadas si las cuales la criticidad se queda en una postura emulada. Estas preguntas también pueden ser objeto de reflexión de las y los formadores de profesores de Ciencias, pues la formación inicial y con ella, sus formadores, tienen un impacto en las concepciones, creencias y valores que las y los profesores ponen en juego en las aulas de clases. Asumir la formación e investigación en Enseñanza de la Física desde la praxis, es, por un lado, contribuir a la humanización de la Ciencia y su enseñanza y, por otro lado, avanzar en organizaciones y acciones sociopolíticas, para la transformación social. Esto no es una tarea fácil y frente a la soledad del formador, se requiere diálogo y construcción de comunidades, autocritica y reflexión sobre las prácticas y discursos que se reproducen en la formación inicial y continua de profesores de Física. Cuestionar la Ciencia como un espacio de privilegio y con un fuerte impacto en la sociedad, las voces hegemónicas y las subordinadas que han sido invisibilizadas, silenciadas y omitidas de las producciones científicas y de la Historia de la humanidad, así como las formas de construir conocimiento de diferentes grupos sociales, que poco se divulgan, pues impera una visión etnocéntrica del conocimiento científico, es una parte fundamental para que la educación científica aporte a la construcción de la paz, la solidaridad, otras comprensiones de la naturaleza y las, les y los otros. Esto es, la HFSC desde una perspectiva sociopolítica y sociocultural, se puede constituir en un reactivo de la praxis del formador.

A continuación, se abordan tres aspectos, desde la perspectiva sociopolítica de la HFSC para la EC, que aun requieren ser trabajados en la formación inicial y que constituyen verdaderos desafíos contemporáneos para los formadores de profesores de Ciencias Naturales y Física, particularmente. Estos son, la naturaleza de la Ciencia y Tecnología en la formación de profesores; los aportes de las epistemologías feministas a la Enseñanza de las Ciencias y las redes de circulación y transferencia de conocimiento.

3.2.1 Historia global e historia cultural – aterrizando la humanización de la Ciencia.

Como se mencionó anteriormente, una de las principales contribuciones de la Historia de la ciencia en la perspectiva sociocultural es la de humanizar la Ciencia. Sin embargo, Guerra y Moura se preguntan *há uma única possibilidade de enxergar a chamada humanização do ensino de ciências? Quais as possibilidades de um ensino contextualizado (em um viés histórico) sobre as ciências?* (GUERRA; MOURA, 2022). La respuesta a esta pregunta es que efectivamente, es posible pensar en abordajes alternativos que se enfoquen en los contextos sociales y culturales de las y los científicos, y en narrativas que reconozcan el intercambio de conocimientos, prácticas y experiencias provenientes de diversas culturas y orígenes étnicos (GUERRA; MOURA, 2022). Estos dos abordajes reciben el nombre de Historia Cultural de la Ciencia (HCC) e Historia Global (HG). A continuación, nos aproximamos brevemente a estas dos corrientes historiográficas que podrían tener un gran potencial en la formación de formadores de profesores de Ciencias y en el desarrollo de esta tesis, que se ubica en el sur global. Esta última cuestión es relevante pues como se mencionó en el capítulo anterior, la formación de profesores de Física en el sur global, particularmente en Latinoamérica, presenta desafíos asociados a nuestra posición geopolítica y los procesos de colonización en donde la Ciencia tuvo un papel relevante.

Para iniciar con la perspectiva de Historia Global de la Ciencia, el trabajo desarrollado por Gandolfi (2019) se enmarca en una perspectiva intercultural y global de la historia de la ciencia y apunta a resaltar las contribuciones de diferentes culturas a la empresa científica, enfatizando en que efectivamente la Ciencia es hecha por humanos -es una actividad humana- de diferentes lugares y orígenes étnicos (GUERRA; MOURA, 2022). En el modelo intercultural para la enseñanza de aspectos no epistémicos en la NdeC que construye, afirma que la HG está conectada con el campo de los estudios Pos/decoloniales en la Ciencia y plantea las siguientes preguntas:

¿Cómo se consolidó la Ciencia como forma de propiedad intelectual como resultado de los procesos globales? ¿Cómo ha repercutido la globalización de las formas culturales en la ubicación de la Ciencia en lo global? ¿Cuál es la relación entre la globalización de la Ciencia y la Ciencia imperialista? ¿Qué caminos ha recorrido la Ciencia, y puede esto dilucidarse en relación con los caminos recorridos por los restos archivísticos y materiales? ¿Cómo se vinculó la Ciencia a los imperios y a las naciones, y cómo han pasado por alto los estudiosos del pasado las narrativas globales? (GANDOLFI, 2019, p. 560, traducción propia).

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que la HG de la Ciencia es el producto de establecer vínculos entre la Historia Global y la Historia de la Ciencia, pues se considera que la

Ciencia es un fenómeno histórico y al mismo tiempo un elemento constructivo y un producto de la historia más general a escala global, según Roberts (2009):

En lugar de una visión de la Ciencia como un regalo de Occidente al mundo o de historias que se centran en la Ciencia occidental principalmente como una herramienta de dominación imperialista, está surgiendo un enfoque dinámicamente equilibrado que trata de destacar el papel productivo desempeñado por los intercambios interculturales situados en todo el mundo en la historia de la Ciencia y la historia en general, reconociendo al mismo tiempo el carácter asimétrico de las condiciones que a menudo asistieron a tales encuentros (ROBERTS, 2009, p. 10, traducción propia²⁴).

En ese sentido, Fan (2012) diferencia la HG de la Historia mundial por el enfoque en las conexiones y patrones globales, es decir, el interés está en identificar y analizar las interacciones transregionales y globales de la Ciencia y la Tecnología. En palabras de Roberts (2009):

[...] para integrar la historia de la Ciencia y la historia global, debemos captar las formas en que los intercambios locales y la circulación global moldearon simultáneamente los desarrollos científicos y tecnológicos y los integraron de forma co-constructiva con los desarrollos más amplios de la historia política, económica y cultural. Sólo así podremos apreciar el papel desempeñado por la Ciencia y la tecnología en la configuración de la modernidad (ROBERTS, 2009, p. 25, traducción propia).

Considerando lo anterior, la HG utiliza dos conceptos relevantes: circulación y comercio (FAN, 2012). De este último se desprende la zona de contacto propuesto por Marie Louise Pratt (ROBERTS, 2009), aunque también se usa el concepto denominado “zona comercial” (FAN, 2012, p. 254) y lo que se busca vincular los hechos y preocupaciones locales con redes globales en interacción.

El concepto de circulación es tal vez uno de los más usados en la Historia de la Ciencia y la Tecnología actual, y no es para menos, al hablar de circulación del conocimiento científico se reconoce una multidireccionalidad del conocimiento científico, alejándonos de la visión de centros de conocimiento-periferias “y en consonancia con el giro global de la historia de la Ciencia, adopta una visión amplia de los participantes, las acciones y los lugares de la empresa científica” (FAN, 2012, p. 252). Así, el foco está en el proceso y movimiento de conocimiento, en donde los actores, tanto el “centro” como la “periferia” o ciudad-campo/ metrópoli-colonia/capital-provincia/Norte global-Sur Global, son igualmente relevantes en el proceso.

²⁴ For in place of a view of science as the West's gift to the world or histories that focus on western science primarily as a tool of imperialist domination, a dynamically balanced approach is emerging which seeks to highlight the productive role played by globally situated intercultural exchanges in the history of science and history more generally, while simultaneously recognising the asymmetrical character of the conditions that often attended such encounters (ROBERTS, 2009, p. 10).

Al respecto Fan (2012) menciona:

Las ideas y la información transmitidas por las redes y, a menudo, a través de las culturas, desempeñaron un papel importante en la creación de la Ciencia moderna (Raj 2007). Igualmente, importante es la circulación de objetos materiales. La circulación de especímenes y otros objetos de la naturaleza en el comercio marítimo, por ejemplo, contribuyó al desarrollo de la historia natural en el mundo moderno temprano. [...] La práctica y las instituciones de la Ciencia no pueden entenderse adecuadamente fuera de este contexto global (FAN, 2012, p. 252).

Sin embargo, Fan (2012) llama la atención sobre la imagen de una circulación cerrada, suave. Al contrario, lo que se considera por “circulación” está más asociado a “negociaciones, empujones y tirones, luchas y paradas y arranques. La imagen de la circulación tiende a imponer demasiada unidad, uniformidad y direccionalidad a lo que fue complejo, multidireccional y desordenado” (p. 252, traducción propia). Una visión ingenua de la circulación de la Ciencia y la Tecnología podría desviar la atención de un análisis crítico de las relaciones de poder de la Ciencia y la tecnología. Así, se hace necesario cuestionar donde, cómo, qué circulaba y entre quienes se establece la circulación, esto es, investigar las dificultades, límites y condiciones positivas de la circulación de objetos, personas y conocimiento científico.

Por último, es imposible pensar la Ciencia moderna sin establecer un vínculo con el comercio. Así, hablar sobre la zona de contacto y por tanto el “contacto” busca llamar la atención sobre cómo la interacción entre seres humanos afectó sus identidades y relaciones entre sí y con objetos y fenómenos, reconociendo que estas interacciones fueron asimétricas. Pratt (2007) apud Roberts (2009), define la zona de contacto como:

[...] un intento de invocar la copresencia espacial y temporal de sujetos previamente separados por disyuntivas geográficas e históricas, y cuyas trayectorias se cruzan ahora. Al utilizar el término “contacto”, pretendo poner en primer plano las dimensiones interactivas y de improvisación de los encuentros coloniales, tan fácilmente ignoradas o suprimidas por los relatos difusionistas de la conquista y la dominación. Una perspectiva de “contacto” hace hincapié en cómo los sujetos se constituyen en y por sus relaciones mutuas (p. 21, traducción propia).

Por su parte, Galison (1997) apud Fan (2012) propone la metáfora de “zona de negociación” que se puede entender de la siguiente manera:

La actividad comercial depende de la coordinación de la acción, pero no requiere una traducción completa de los conocimientos. Del mismo modo, en la Física de altas energías, las comunidades de teóricos, experimentadores y fabricantes de instrumentos han desarrollado lenguas de contacto para coordinar sus acciones; el lugar o la zona en la que se produjo dicha coordinación se denomina “zona de comercio” (FAN, 2012, p. 254).

Nuevamente, Fan (2012) llama la atención sobre el uso de estos dos conceptos, pues el primero se muestra poco operativo para desarrollar análisis históricos y el segundo tiene una

serie de problemas asociados al poco énfasis en las relaciones de poder, los cambios al interior de las comunidades, su aplicación a comunidades menos especializadas entre otros.

Par finalizar, esta perspectiva de la Ciencia Global nos convoca a pensar la relación entre lo Global y lo Regional, rescatando justamente de este segundo elemento, aquellos conocimientos, prácticas, textos que fueron sustanciales para la construcción de conocimiento científico, resistiendo al proceso homogeneizador y globalizador-imperialista.

Por su parte, la Historia Cultural de la Ciencia (HCC) se nutre de las relaciones con la antropología y los que trabajan en ella consideran que más allá de estudiar la Ciencia que se produce en una cultura, es necesario pensar la Ciencia producida como cultura (PIMENTEL, 2010). Así, centran su atención a las prácticas, la comunicación y las representaciones en la ciencia, pues la Ciencia no solo estaría en el laboratorio, hecha por científicos de bata blanca, sino que participan otras comunidades y en diferentes espacios. Tal como indica Pimentel (2010): “desplazando el foco del qué al cómo” (p. 423).

En ese sentido, la mirada de las personas, relacionadas con la historia cultural, se posa sobre las prácticas científicas, los instrumentos y los documentos científicos, ya no en la búsqueda de los productos de la Ciencia solamente, sino en la forma en que opera y se transforman las relaciones para posicionar ciertos saberes, prácticas, discursos y sentidos como científicos y no científicos, esto es, se pregunta sobre cuáles son los sustentos sociales, culturales y materiales de la práctica científica. Según Pimentel (2010).

El énfasis en las formas de producción y comunicación de conocimiento, en sus medios de representación, así como la fuerte conciencia de que la Ciencia no sólo se dice –se enuncia– sino que fundamentalmente se hace, ha motivado una apreciable deriva hacia las dimensiones visuales y materiales de la Ciencia (p. 421).

Por tanto, en la HCC: *“Trata-se, [...] de desenvolver estudos históricos das práticas científicas, situando-as como cultura, ou seja, um sistema de concepções herdadas nas quais homens e mulheres produzem ações sobre o mundo em que vivem”* (MOURA; GUERRA, 2016, p.729).

Así mismo, los aportes de los estudios decoloniales han influenciado esta perspectiva historiográfica, que busca estudiar otras formas de conocer que también contribuyeron a la consolidación de la empresa científica o que fueron desestimadas. Antes de la imposición de la Ciencia en el mundo como único sistema racional de conocer, existían otras epistemologías que

fueron marcadas como falsas e irracionales, no sin antes apropiarse de algunos conocimientos y generar un epistemicidio. Como mencionan Guerra y Moura (2022):

A monocultura da epistemologia da ciência subjugou as formas de conhecimento não-ocidentais e não-cristãs, construindo linhas abissais de separação entre as diferentes epistemes. Essa subjugação, entretanto, não impediu a ciência de descobrir outras racionalidades e se beneficiar com elas. Os espécimes coletados, os fósseis encontrados, as práticas e conhecimentos aprendidos nas diferentes colônias possibilitaram expansão de horizontes, algo fundamental para a consolidação da ciência e de seu projeto de universalidade (PIMENTEL, 2007 apud GUERRA; MORA, 2022, p. 8).

Teniendo en cuenta lo anterior, la HCC tiene el potencial para poner de relieve la complejidad de la empresa científica con sus actores, prácticas, comunicaciones y representaciones, alejándose de una visión neutra y simple de la actividad científica. Concebir que diversos actores sociales, no todos con la etiqueta de científico/a, desarrollan prácticas, símbolos y sentidos, y que de esto se desprende el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, mover el foco del qué al cómo y considerar el historiador como un intérprete, son elementos que caracterizan la HCC. Asimismo, la HCC contribuye a visibilizar epistemologías y actores sociales usualmente borrados de la Historia Humana. En palabras de Guerra y Moura (2022):

Podemos adotar vertentes historiográficas como a História Global [...].O outras, como a HCC, que permitem invocar a sociologia das ausências e a das emergências e visibilizar a participação de atores sociais, como os habitantes das colônias, pessoas negras, mulheres, assistentes de pesquisa, técnicos, artesãos, que na condição de outro a ser invisibilizado e com isso desprezado, realizaram trabalhos e compartilharam conhecimentos, de forma voluntária ou não, que garantiram à ciência alcançar a acuidade e poder que hoje possui (p. 16).

Además, reconocen que tendría el potencial de conjugar narrativas históricas con las historias de vida de los estudiantes dando valor a sus contextos y contribuir en el reconocimiento de las asimetrías de poder en el desarrollo de la Ciencia (GUERRA; MOURA, 2022, p. 17). También tiene implicaciones en la forma de concebir a los profesores de Ciencias, pues pasan a ser actores relevantes:

ya que asume el papel de combinar sus propias aspiraciones, realidades y contradicciones y las de sus alumnos con el contexto social y político en el que viven para inspirar narrativas históricas capaces de promover reflexiones sobre las invisibilidades y las supresiones relacionados a cada aula o situación de enseñanza (GUERRA; MOURA, 2022, p. 17, traducción propia).

Por tanto, reconociendo que una perspectiva de la educación en Ciencias es la justicia social (GUERRA, 2021), se requiere en la formación de profesores avanzar hacia procesos de reconocimiento de nuestra herencia cultural (GUERRA; MOURA, 2022) y la descolonización de saberes en la que reconocemos la imposición de una única epistemología como parte de un

sistema moderno colonial que aún se replica a través del colonialismo y que nos ubica en una posición de consumidores y receptores pasivos de la Ciencia.

Por tanto, como formadores de profesores de Ciencias en el sur global, es necesario ampliar la mirada crítica y como dicen Guerra y Moura (2022):

À luz da sociologia das ausências, da sociologia das emergências e do epistemicídio, entendemos que a educação em ciências no Sul Global deve priorizar a discussão da herança cultural no sentido de permitir aos estudantes compreender que o presente não é inexorável e vários futuros são possíveis. [...] Dessa forma, defendemos que a compreensão do impacto social das mudanças científicas, tecnológicas passa por promover espaços na educação em ciências que permitam aos estudantes reconhecerem que a ciência se desenvolveu a partir da tríade do colonialismo, patriarcado e capitalismo. Nesse sentido, as ações pedagógicas devem, também, potencializar entendimentos de que o processo de construção e estabelecimento da ciência ocorreu a partir de violências, invisibilizações e anulações de atores sociais e epistemologias (p. 9).

Lo anterior implica un compromiso por parte de los formadores y requiere una construcción de conocimientos que modelen nuevas formas de comprender la Ciencia y cómo se hace y se ha hecho. Además, como menciona Santos *et al.* (2019) apud (GUERRA, A.; MOURA, C. B. DE., 2022) también se trata de establecer diálogos *com aqueles que oferecem entendimentos alternativos da vida social e da transformação social à epistemologia da ciência* (pág. 8). En ese sentido consideramos que esta tesis se inscribe en este compromiso de la lucha político-educativa contra el capitalismo, patriarcado y colonialismo.

3.2.2 La naturaleza de la Ciencia y la formación de profesores de Ciencias: De la Ciencia monolítica a una mirada de la Ciencia integral o completa

La naturaleza de la Ciencia ha sido uno de los aspectos más relevantes y estudiados en los últimos años por la comunidad de formadores y educadores en enseñanza de las Ciencias naturales. En efecto, *desde el punto de vista de la investigación y la innovación didáctica, puede entenderse como una línea que surge de las nuevas necesidades curriculares* (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018, p. 31). Así, es aceptado por la comunidad de investigadores dos grandes premisas: 1) es necesario formar a los profesores de Ciencia en aspectos de la naturaleza de las Ciencias, para “adquirir una comprensión básica de aspectos de la NdeC, así como a manejar recursos, estrategias educativas y técnicas de evaluación para implementar la NdeC en sus clases de Ciencia con eficacia” (ACEVEDO-DÍAZ *et al.*, 2017). En este sentido, uno de los retos que se presenta a los formadores de profesores es el de determinar qué, cuándo y cómo se enseñan estas cuestiones de NdeC, además de preguntarse sobre qué NdeC “se transmite a través de las formas de pensamiento, discurso y acción puestas en marcha en las clases de Ciencias naturales” (ADÚRIZ-BRAVO, 2005, p. 6); y 2) la

enseñanza de la naturaleza de la Ciencia, en diversos niveles educativos, se asocia con la construcción de pensamiento crítico, por tanto es necesario prestar atención a “qué naturaleza de la Ciencia puede aprenderse para cada nivel de madurez, riqueza y profundidad de los contenidos científicos que se meta-analizan” (ADÚRIZ-BRAVO, 2005, p. 6).

La multiplicidad de enfoques bajo la denominación de “Naturaleza de las Ciencias” (NdeC en español y en inglés, NOS), se distinguen en sus definiciones, alcances y focos. Así, la visión consensuada de la NdeC, representada en los trabajos de Norman Lederman y su grupo de colaboradores (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2017), han recibido múltiples cuestionamientos asociados principalmente a la imagen “monolítica” de la Ciencia que promueve y las listas de afirmaciones. Según Irzik y Nola (2011 apud AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2017, p. 3.499):

la visión consensuada retrata una imagen demasiado monolítica de la Ciencia y desconoce las diferencias entre las disciplinas científicas, brindando una imagen de NdeC (NOS) fija y atemporal, siendo que cada Ciencia (Biología, Física, Química, etc.) ha tenido su propio tiempo de evolución que la diferencia de otras.

Frente a estas críticas, Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2017) revisan cuatro propuestas alternativas a la visión consensuada: las “características de la Ciencia”, (*Features of science*, FOS) por Michael Mathews (2012), los “parecidos de familia” (*family resemblance*) de Irzik y Nola (2011), “los contenidos meta científicos con valor educativo” de Adúriz-Bravo (2005) y la “Ciencia integral/completa” (*Whole science*) de Allchim (2013). A continuación, planteamos a grandes rasgos, las ideas principales de los tres primeros y ampliamos la última en un apartado específico.

Mathews (2012) apud Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2017) propone hablar de unas características de la Ciencia, más relajadas, contextuales y heterogéneas, que las que propone la naturaleza de la Ciencia esencialista y concentrada en la epistemología (MATTHEWS, 2012, p. 493), pues incluye una serie de “estudios de la Ciencia” que traen importantes cuestiones, más allá de las filosóficas. Él menciona que “Las características de la Ciencia lo integran (la naturaleza del conocimiento científico), pero también se ocupa de los procesos, las instituciones y los contextos sociales y culturales en los que se produce este conocimiento” (MATTHEWS, 2012, p. 515), propone considerar, además de los siete elementos de la lista de Lederman y colegas (1. La naturaleza empírica de la Ciencia, 2. Las teorías científicas son diferentes de las leyes científicas, 3. La naturaleza creativa e imaginativa del conocimiento científico, 4. La naturaleza del conocimiento científico cargada hacia el lado de la teoría, 5. La inclusión del conocimiento científico en el contexto social y cultural, 6. El

mito del método científico, 7. La naturaleza provisional del conocimiento científico) (MATTHEWS, 2012, p. 498-499), tres características de la Ciencia: Experimentación, idealización y modelos. Por tanto, el cambio de enfoque y de terminología propuesta por Matthews (2014) tiene como foco la flexibilidad de lo que se considera necesario enseñar en naturaleza de las Ciencias, reconociendo la riqueza que hay en los estudios de la Ciencia y a su vez la complejidad de llevar las discusiones de estos campos a la práctica en el aula.

El trabajo de Irzik y Nola (2011) apud Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2017) pone el foco en la diversidad de la Ciencia y los procesos metodológicos, en ese sentido, retoman los parecidos de familia de Wittgenstein para proponer una naturaleza de la Ciencia que dé cuenta de la diversidad de las disciplinas que se ubican bajo el término Ciencia y por supuesto, su diversidad de metodologías. Esto se puede ver en:

Hay muchas cosas que se llaman “Ciencia”, desde la arqueología hasta la zoología. (Aquí excluirémos de nuestra discusión el caso especial de las matemáticas por su carácter no empírico). Entonces, ¿qué tienen en común estas numerosas Ciencias? La idea del parecido familiar nos dirá que es una pregunta equivocada. Lo que tenemos que hacer es investigar las formas en que cada una de las Ciencias es similar o disímil, construyendo así desde cero conjuntos politéticos de características para cada Ciencia individual (IRZIK; NOLA, 2010, p. 595, apud AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia²⁵).

Por tanto, este enfoque de Naturaleza de la Ciencia no busca establecer una imagen fija y estandarizada de la Ciencia, sino por el contrario, reconocer que en ella hay una diversidad que hace parte de su comprensión, captando la naturaleza dinámica y abierta que posee (IRZIK; NOLA, 2010, p. 602, apud AMADOR-RODRÍGUEZ y ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia). Por tanto, se resaltan las coincidencias y similitudes parciales entre las disciplinas científicas, lo que atiende al problema de la “emarcación y la definición de la Ciencia” (IRZIK; NOLA, 2010, p. 602, apud AMADOR-RODRÍGUEZ y ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia).

En ese sentido, proponen una estructura para la NdeC (NOS), basada en cuatro categorías que establecen los parecidos de familia entre las disciplinas científicas, estas son: “(1) actividades, (2) objetivos y valores, (3) metodologías y reglas metodológicas, y (4) productos” (IRZIK; NOLA, 2010, p. 596, apud AMADOR-RODRÍGUEZ y ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia). En la explicación de cada uno de ellos se resaltan tanto los

²⁵ There are many items called ‘science’, ranging from archeology to zoology. (Here we will exclude the special case of mathematics from our discussion because of its non-empirical character.) So what do these many sciences have in common? The idea of family resemblance will tell us that this is a wrong question to ask. What we need to do is investigate the ways in which each of the sciences are similar or dissimilar, thereby building up from scratch polythetic sets of characteristics for each individual science.

parecidos de familia como la diferencia entre las disciplinas científicas. Asimismo, hace justicia al desarrollo histórico de la Ciencia, pues el enfoque de parecidos de familia reconoce que *a medida que la Ciencia se desarrolla puede, y de hecho a menudo lo hace, adquirir nuevas características* (IRZIK; NOLA, 2010, p. 602, apud AMADOR-RODRÍGUEZ y ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia), así, la Historia de la Ciencia tiene un papel fundamental en el establecimiento de estos parecidos de familia y estos son dinámicos.

Para finalizar, los autores resaltan las diferencias con respecto al enfoque de consenso y componen una definición de Ciencia que contempla las cuatro categorías anteriormente enunciadas, dejando abierta la posibilidad a que emerjan otras. En sus palabras:

Esto no quiere decir que el enfoque del parecido familiar no añada nada nuevo a la visión de consenso. [...] Para empezar, el enfoque del parecido familiar es más completo que la visión de consenso. Mientras que esta última ni siquiera menciona las actividades y los objetivos/valores científicos y desprecia por completo la metodología científica, la primera los incluye y les otorga un lugar central como categorías significativas que caracterizan la naturaleza de la Ciencia. Además, el enfoque de semejanza familiar teje estas categorías de forma sistemática e integrada: para decirlo en pocas palabras, según él, la Ciencia es un sistema cognitivo cuyas actividades de investigación tienen una serie de objetivos que intenta alcanzar con la ayuda de sus metodologías y reglas metodológicas, y cuando tiene éxito, produce una serie de resultados, en última instancia, el conocimiento (IRZIK; NOLA, 2010, p. 602, apud AMADOR-RODRÍGUEZ y ADÚRIZ-BRAVO, 2017, traducción propia²⁶).

Por último, la propuesta de Adúriz-Bravo tiene su centro en lo epistemológico. En sus palabras: desde nuestro punto de vista, la contribución principal a la Naturaleza de la Ciencia debe provenir de la epistemología (Adúriz-Bravo, 2005), pues considera que la imagen crítica sobre el funcionamiento de la Ciencia actual se construye, fundamentalmente de ideas epistemológicas. Por tanto, define la naturaleza de la Ciencia como un conjunto de contenidos meta científicos con carácter educativo:

En nuestra opinión, la naturaleza de la Ciencia más adecuada para la práctica profesional del profesorado de Ciencias debería satisfacer los siguientes requisitos:

1. Ser principalmente una reflexión de tipo epistemológico, ambientada en la historia de la Ciencia y “advertida” por la sociología de la Ciencia contra el dogmatismo y el triunfalismo del relato positivista tradicional.
2. Construir una imagen de Ciencia realista y racionalista moderada (Izquierdo, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo y Aliberas, 2004), de modo de destacar

²⁶ This is not to say that the family resemblance approach adds nothing new to the consensus view. It contains novel elements and is superior to the latter in several ways, some of which we have indicated above and more can be said. To begin with, the family resemblance approach is more comprehensive than the consensus view. Whereas the latter does not even mention scientific activities, aims/values and is dismissive of scientific methodology altogether, the former includes them and gives a central place to them as significant categories that characterize the nature of science. Moreover, the family resemblance approach weaves these categories in a systematic and integrated way: to put it in a nutshell, according to it, science is a cognitive system whose investigative activities have a number of aims that it tries to achieve with the help of its methodologies and methodological rules, and when successful, produces a number of outcomes, ultimately, knowledge (IRZIK; NOLA, 2010, p.602).

los notables logros intelectuales y materiales de las Ciencias naturales sin rehuir la discusión de sus limitaciones y de sus aspectos éticos o “humanos”.

3. Sintonizar con los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos que los profesores reciben durante su formación y su actividad (p. 4).

Así, plantea tres ejes de la “Naturaleza de la Ciencia”: epistemológico, histórico y sociológico. De esta propuesta es particularmente relevante para esta tesis, el uso de narrativas y la elección de casos paradigmáticos de la historia de la Ciencia para ambientar las cuestiones epistemológicas y traer cuestiones de la sociología de la Ciencia para problematizar las complejas relaciones entre Ciencia, sociedad y cultura. A continuación, se describe brevemente cada uno de los ejes de esta propuesta.

El eje epistemológico apunta a determinar qué es la Ciencia y cómo se elabora. En *Una introducción a la naturaleza de las Ciencias* (ADÚRIZ-BRAVO, 2005), se propone abordar este eje a través de cuatro cuestiones organizadoras: “el problema de la demarcación de la Ciencia, la correspondencia entre las proposiciones de la Ciencia y el mundo real, el método de la Ciencia y la racionalidad en la Ciencia”.

El eje histórico intenta responder a la pregunta de cómo cambia la Ciencia en el tiempo. En ese sentido, considera que la historia de la Ciencia provee una ambientación para las ideas epistemológicas. Las cuatro cuestiones organizadoras que Adúriz- Bravo (2005) propone abordar son: la innovación y la evolución de la Ciencia, el juicio sobre nuevos modelos y el papel del individuo y la comunidad científica y la intervención en el mundo.

El eje sociológico que trata sobre cómo se relacionan la Ciencia, la sociedad y la cultura. En este sentido, la sociología de la Ciencia contribuiría a una “lúcida llamada de atención contra el dogmatismo y el cientificismo de las visiones tradicionales acerca de la Ciencia” (ADÚRIZ-BRAVO, 2005, p. 13). En este eje se proponen tres cuestiones: los contextos, valores y lenguajes de la Ciencia.

Como se puede evidenciar, esta propuesta apunta a una naturaleza de la Ciencia para la formación de profesores centrada en lo epistemológico pero funcional en la práctica y ajustada a las necesidades y metas de la educación científica. La elección de casos paradigmáticos para la enseñanza de las cuestiones sobre naturaleza de la Ciencia y desde un marco de los aportes de la historia y filosofía de la Ciencia se aleja de las listas de la tradición normativa y aboga por una autonomía docente que se construye en la formación inicial, con una buena formación epistemológica.

Para finalizar esta revisión de propuestas alternativas y críticas al enfoque de consenso, en ellas se resalta el rescate de la Historia de las Ciencias y la comprensión de la complejidad

de la tarea de hablar sobre la naturaleza de la Ciencia. Reconocer esta complejidad, lleva, cómo menciona Matthews (2012) a asumir una postura modesta frente al reto de formar en Ciencias a partir de la convicción de que la naturaleza de las Ciencias debe aportar a una comprensión de la Ciencia desde una postura anti dogmática, crítica y transformadora.

A continuación, presentamos una revisión de la perspectiva de Ciencia integral, que, para esta tesis, consideramos que podría ser importante para resaltar los aportes de la HFSC a la formación de formadores de profesores de Ciencias.

3.2.2.1 Naturaleza de la Ciencia desde la perspectiva de la Ciencia integral o “Whole Science”.

En la misma línea de las perspectivas anteriores, Allchin (2013) desarrolla la propuesta de Ciencia Integral o “*Whole Science*” estableciendo una analogía con “*whole food*²⁷” o alimentos sin procesar. Esta propuesta, al igual que las anteriores, cuestiona las listas de aspectos o “*tennets*” contruidos desde la perspectiva de consenso de la NdeC, pues considera que

la comprensión de las NdeC no está bien expresada en el tipo de afirmaciones generales que suelen aparecer en la lista de NdeC. Las distintas ideas sobre la Ciencia necesitan un contexto y detalles concretos. Como afirmaciones generales, son imprecisas e incluso potencialmente engañosas (ALLCHIN, 2013, p. 13-14, traducción propia²⁸).

Entonces, ¿en qué consiste la perspectiva de Ciencia integral en la NdeC (NOS)? Esta propuesta pone el énfasis en una mirada integral y no compartimentalizada de la práctica científica a través del uso de estudios de caso históricos y actuales. Así, la perspectiva de Ciencia integral discute cual es la NdeC necesaria para la alfabetización científica y la educación en Ciencias con el fin de potenciar la adquisición de habilidades para el análisis y la reflexión crítica sobre la Ciencia en la toma de decisiones personales y públicas (ALLCHIN, 2013, p. 10).

Al definir la perspectiva de Ciencia integral o “Whole Science”, Allchin (2011) menciona que:

La Ciencia integral bien puede designar una síntesis no solo de elementos relevantes de NdeC, sino también de procesos y productos científicos en un contexto educativo. La Ciencia integral en un aula abarca el contenido, el proceso de las habilidades

²⁷ Whole food o comida integral se refiere a aquellos alimentos que no son procesados o refinados, también aquello que tienen poco procesamiento y conservan su matriz alimentaria.

²⁸ Ultimately, NOS understanding is not well expressed in the kinds of general statements that typically appear on NOS list. The various ideas about science need context and concrete particulars. As general statements, they are imprecise- and even potentially misleading (ALLCHIN, 2013, p. 11).

científicas y el análisis NdeC de amplio alcance (ALLCHIN, 2011, p. 533, traducción propia²⁹).

En ese sentido, considera que lo que los estudiantes necesitan aprender a determinar en qué o quién confiar y por qué (ALLCHIN, 2011, p. 20). Así, la fiabilidad o confiabilidad, y asociada a ella, la autoridad de la Ciencia, son elementos centrales en la perspectiva de Ciencia integral, pues más que determinar qué es la Ciencia, se espera poder actuar en la sociedad y tomar decisiones a través del desarrollo de habilidades analíticas y conocimientos científicos. En sus palabras:

Los estudiantes necesitan desarrollar herramientas analíticas para evaluar tanto a los promotores como a los críticos de la Ciencia. De esta manera, las interpretaciones de la confiabilidad del conocimiento pueden informar nuestras decisiones, tanto como individuos como, colectivamente, como sociedad [...] Interpretar la confiabilidad de las afirmaciones científicas requiere una comprensión amplia de la práctica científica, o de cómo funciona la Ciencia, desde un simple entorno de laboratorio o de campo hasta el periodismo científico (ALLCHIN, 2013, p. 22, traducción propia³⁰).

Así pues, Allchin (2013) revisa dos elementos que han sido ampliamente discutidos por la epistemología de la Ciencia y que han sido centrales en los postulados de la NdeC: la demarcación y la falsabilidad en la ciencia. Frente al primero, reconoce que el proyecto de demarcar la ciencia no es neutral y tiene fines normativos, pues plantea un deber ser de la ciencia, es decir, *una versión idealizada de la Ciencia*, que se aleja de una postura descriptiva o de cómo se hace Ciencia. Así, este proyecto es visto como una apelación a la autoridad política de la Ciencia. Esto es:

El proyecto de demarcación también tendía a tratar la Ciencia como un paradigma (si no el dominio exclusivo) de la racionalidad o la objetividad. El conocimiento científico se ganaba una autoridad especial. Autoridad, y por tanto poder. Como se refleja en los primeros objetivos de privar de derechos al marxismo y el psicoanálisis, los repetidos esfuerzos eran inherentemente políticos. Estos matices políticos siguen existiendo. Los científicos -y los profesores de Ciencias- suelen disfrutar de un privilegio incuestionable. Y muchos se imaginan que deberían ser capaces de convocar ese poder o prestigio mediante una simple definición o apelación a una mera etiqueta (ALLCHIN, 2013, p. 6, traducción propia³¹).

²⁹ Whole Science may well designate a synthesis not only of relevant NOS elements, but also of scientific process and product in an educational context. Whole Science in a classroom embraces content, process of science skills, and broad-ranging NOS analysis. (ALLCHIN, 2011, p. 533)

³⁰ Students need to develop analytical tools to assess both the promoters and critics of science. In this way, interpretations of reliability of knowledge can inform our decisions, both as individuals and, collectively, as a society. [...] Interpreting the reliability of scientific claims requires a broad understanding of scientific practice, or how science works, from a simple laboratory or field setting to science journalism.

³¹ The demarcation Project also tended to treat science as a paradigm (if not the exclusive domain) of rationality or objectivity. Scientific knowledge earned special authority. Authority, hence power. As reflected in the early aims to disenfranchise. Marxism and psychoanalysis, the repeated efforts were inherently political. Such political overtones remain. Scientist – and science teachers- often enjoy unquestioned privilege. And many imagine they should be able to summon such power or prestige through a simple definition or appeal to a mere label (ALLCHIN, 2013, p. 6).

Por otro lado, con respecto a la falsabilidad, considera que, si bien es una concepción ampliamente extendida entre científicos y profesores de Ciencias, de cómo se mejora la Ciencia o progresa, la falsabilidad ha sido sobreestimada y erróneamente extendida como principio en la Ciencia. Así presenta casos en donde las y los científicos, más que falsear la Ciencia, ajustan, promueven, esperan y evalúan resultados y teorías, es decir, no siempre están en la búsqueda de falsear hipótesis, lo cual muestra que *la falsación es un ideal romántico que malinterpreta la Ciencia real y productiva*. (ALLCHIN, 2013, p. 11) En ese sentido, resalta que el razonamiento de los científicos es mucho más complejo y variado (suposiciones, hipótesis, premisas, lecturas de contexto) que la construcción de argumentos deductivos.

La propuesta de ciencia integral reconoce los aportes de los estudios sociales de la ciencia y plantea el siguiente interrogante para la educación científica: “Utilizando la ciencia en la vida cotidiana como contexto relevante, ¿cuál es el alcance y el enfoque apropiados de las NdeC (NOS) en la educación?” (ALLCHIN, 2013, p. 18). Por tanto, la NdeC no es un fin en sí mismo de la enseñanza de las ciencias, sino un medio o una de las herramientas para comprender la práctica científica y, por tanto, “las características que afectan a la fiabilidad, o a la credibilidad, de las afirmaciones científicas” (ALLCHIN, 2013, p. 18). Así, la “NdeC abarca la cartografía de los procesos a través de todas estas capas: desde los tubos de ensayo hasta YouTube” (ALLCHIN, 2013, p. 23). Este aspecto es central para tesis, pues consideramos que formar profesores de ciencias, que puedan aportar en los procesos de paz y justicia social y ambiental, requieren ser críticos y propositivos, esto es, el combate de la desinformación pasa por la educación para el ejercicio pleno de la ciudadanía en un mundo globalizado.

La información a la que constantemente estamos expuestos sobre las vacunas, cambio climático y guerra, requiere una comprensión que va más allá de los contenidos científicos consignados en los libros de texto. Allchin citando a Latour recoge la diferencia entre “ciencia leída” y “ciencia que se está haciendo”. Un posicionamiento sobre la segunda requiere una profunda comprensión de cómo funciona la práctica científica en todas las dimensiones: sociales, conceptual, económica, cultural, entre otras y una buena forma de comprender es estudiar la primera, la historia leída, a través de la historia de las ciencias. A continuación, se presenta la propuesta de dimensiones para abordar la fiabilidad en la ciencia desde el enfoque de ciencia integral.

Cuadro 8– Inventario parcial de las dimensiones de la fiabilidad en la ciencia

OBSERVACIONAL	<i>Observaciones y mediciones</i> - Exactitud, precisión - Papel del estudio sistemático (frente a la anécdota) - Exhaustividad de las pruebas - Robustez (concordancia entre diferentes tipos de datos)
	<i>Experimentos</i> - Experimento controlado (una variable) - Estudios ciegos y doble ciegos - Análisis estadístico del error - Replicación y tamaño de la muestra
	<i>Instrumentos</i> Nuevos instrumentos y su validación - Modelos y organismos modelo - Ética de la experimentación en seres humanos
CONCEPTUAL	<i>Patrones de razonamiento</i> - Relevancia probatoria (empirismo) - Información verificable frente a valores - Papel de la probabilidad en la inferencia - Explicaciones alternativas - Correlación frente a causalidad
	<i>Dimensiones históricas</i> - Consistencia con la evidencia establecida - Papel de la analogía y del pensamiento interdisciplinar - Cambio conceptual - Error e incertidumbre - Papel de la imaginación y las síntesis creativas
	<i>Dimensiones humanas</i> - Espectro de motivaciones para hacer ciencia - Espectro de las personalidades humanas - Sesgo de confirmación/papel de las creencias previas - Percepciones de riesgo emocionales frente a las basadas en pruebas
SOCIOCULTURAL	<i>Instituciones</i> - Colaboración y competencia entre científicos - Formas de persuasión - Credibilidad - Revisión por pares y respuesta a las críticas - Resolución de desacuerdos - Libertad académica
	<i>Prejuicios</i> - Papel de las creencias culturales (ideología, religión, nacionalidad, etc.) - Papel de los prejuicios de género - Papel de los prejuicios raciales o de clase
	<i>Economía/financiación</i> - Fuentes de financiación - Conflictos de intereses personales
	<i>Comunicación</i> - Normas de tratamiento de datos científicos - Naturaleza de los gráficos - Credibilidad de las distintas revistas científicas y medios de comunicación - Fraude u otras formas de mala conducta - Responsabilidad social de los científicos

Fuente: Tomada de Allchin (2013, p. 24, traducción propia).

Si bien las dimensiones aparecen divididas en tres categorías amplias: observacional, conceptual y sociocultural, como mencionan Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2017), la “pretensión no es separar los contextos materiales, cognitivos y culturales; por el contrario, es la de tenerlos en cuenta a la hora de enseñar NdeC” (p. 3.502). Por tanto, al abordar la naturaleza de la ciencia desde la perspectiva de la ciencia integral, se trata de no ultra procesar y desintegrar la matriz nutricional del pensamiento y la reflexión crítica sobre la ciencia. Por tanto, es

necesario reconocer la complejidad de la práctica científica y el camino que tienen las afirmaciones científicas desde su producción hasta su comunicación y enseñanza, camino que se entiende como un todo inseparable. Esto es:

Las afirmaciones científicas siguen, pues, una vasta trayectoria de sucesivas reconfiguraciones, desde grupos dispares de observaciones hasta las acciones de los ciudadanos, los clientes, las agencias gubernamentales o los líderes corporativos. A medida que la ciencia se despliega, forma cadenas cada vez más largas a medida que las pruebas en bruto se ensamblan en redes cada vez más grandes. La ciencia teje fenómenos y observaciones locales en perspectivas y conceptos sucesivamente más globales (ALLCHIN, 2013, p. 23).

Teniendo en cuenta lo anterior, es relevante para esta tesis la perspectiva de ciencia integral y el enfoque de comprensión de la práctica científica con fines funcionales para el ejercicio de la ciudadanía crítica, pues reconocemos que es una oportunidad para construir un propósito en el que todos los formadores se comprometan a aportar desde los diferentes contextos y actividades (laboratorio, divulgación científica, historia de las ciencias, enseñanza de las ciencias).

El papel de la Historia de las Ciencias en la perspectiva de Ciencia integral.

La perspectiva de ciencia integral resalta el papel de la historia de las ciencias en la comprensión de la práctica científica. Sin embargo, es importante mencionar que el abordaje de la HC en la EC no se restringe a sus potencialidades en la enseñanza de la NdeC. Es decir, es posible enseñar NdeC sin HC, así como es posible utilizar la HC sin adentrarse a aspectos de la NdeC. Pero la combinación de estos dos elementos en el aula, sin duda, contribuye a una enseñanza de las ciencias contextualizada.

En la perspectiva de ciencia integral la HC es considerada un punto de referencia, como también “un vehículo y una guía para la enseñanza de la Ciencia Integral” (ALLCHIN, 2013, p.39). Así, la ciencia integral en el contexto educativo es considerada una síntesis con tres elementos: contenidos, habilidades de proceso y reflexión sobre la NdeC (ALLCHIN, 2013, p. 39). Coincidiendo con Adúriz-Bravo (2014, p. 176) “considerar la ciencia escolar como una intervención mediada constituiría un enfoque de "ciencia integral" para las NdeC” en la que se pueden inspeccionar ideas filosóficas importantes y equilibrar el tratamiento de aspectos teóricos y experimentales de la NdeC.

Allchin presenta nueve formas en que la HC puede beneficiar a los profesores de ciencias. A continuación, se presenta una síntesis en el Cuadro 9.

Muchos de estos beneficios han sido advertidos extensamente, como por ejemplo contextualizar y motivar la ciencia (1), aclarar y revelar conceptos erróneos (2-3) y como también se puede ver, la conexión con la NdeC (7) es solo uno de esos beneficios, al igual que

potenciar la indagación en las clases de ciencias (6). Sin embargo, se resalta el abordaje de la celebración de los logros (4) y promover carreras científicas (5). Sin duda, estos dos aspectos confluyen a la necesidad de prestar atención a cómo los discursos sobre la ciencia, movilizados a través de la HC, construyen prototipos hagiográficos y distorsionados de los científicos.

Así mismo, Allchin nos advierte sobre algunos posibles errores en el uso de la historia en el aula y menciona: “Las historias de la ciencia no son sólo historias de la ciencia. Son relatos implícitos de la naturaleza de la ciencia” (ALLCHIN, 2013, p. 45). En ese sentido, algunos peligros están en las concepciones míticas, interpretar la historia de forma selectiva y mirar la historia con los ojos del presente (ALLCHIN, 2013).

Cuadro 9– Formas en que la HC puede beneficiar a los profesores

1. Contextualizar y motivar la ciencia	La historia permite a los profesores pasar de la alienación de las respuestas prescritas al asombro o a los problemas no resueltos que motivan el aprendizaje.
2. Aclarar conceptos	Los conceptos surgen del contexto y de las pruebas
3. Revelación de conceptos erróneos	La historia permite a los profesores anticiparse y ser sensibles a los preconceptos comunes de las preocupaciones ingenuas y apreciar los contextos específicos en los que estas posibles concepciones erróneas parecen a menudo tener sentido,
4. Celebrar los logros	Los profesores que celebran la historia deben reflexionar sobre los valores y matices ideológicos que sus historias implican y promueven.
5. Promover las carreras científicas	Los modelos históricos que el profesor selecciona o enfatiza probablemente afectarán a quiénes siguen carreras científicas.
6. Desarrollar la capacidad de indagación	La historia es una base para el aprendizaje de habilidades tanto cognitivas como prácticas.
7. Perfilar la naturaleza de la ciencia	La historia de la ciencia es una herramienta para abrir el debate sobre los importantes principios metodológicos y filosóficos que subyacen a las conclusiones científicas y analizar el cambio en la ciencia
8. Destacar la ciencia como algo social	La ciencia es social en dos sentidos: a) es una actividad de las sociedades, y b) se practica en comunidades científicas
9. Retratar los contextos culturales de la ciencia	La ciencia tiene dimensiones económicas, políticas, étnicas, éticas, retóricas y de género, además de conceptuales. Todas ellas pueden condicionar la fiabilidad de las afirmaciones científicas, así como la imagen pública de la ciencia.

Fuente: Adaptado de Allchin (2013, p. 29-39).

Todos estos beneficios de la HC para los profesores de ciencia, también podríamos trasladarlos para los formadores de profesores de ciencias, teniendo en cuenta los contextos de desarrollo y los fines educativos y formativos. Así como los estudiantes, los formadores de profesores podemos vernos beneficiados de la HC desde una perspectiva de ciencia integral, pues, por un lado, cómo el propio caso de Kuhn (2013) que, al participar en un curso experimental sobre Física para no científicos, se vio confrontado con sus propias concepciones sobre la naturaleza de la ciencia y del éxito particular de esta (p. 89). Es claro que el acercamiento a la historia de la ciencia por parte de los formadores debe superar la idea de “historias de curiosidades”. Es necesario una actitud de indagación y reflexión crítica, esto es, el acercamiento a la historia de las ciencias de los formadores de profesores de ciencias requiere

tener presente el fin formativo: ampliar mis propias concepciones, conocimientos, habilidades y reflexiones sobre la ciencia “hecha y leída” y la “ciencia que se está haciendo”, mientras reflexiono sobre la ciencia integral para la formación de profesores.

También es claro, que no es posible conocerlo todo, por lo cual es importante apoyarse en comunidades en las que está distribuido el conocimiento científico. En ese sentido, por ejemplo, si el área de trabajo es la Física experimental, ¿cómo se modificaría nuestra concepción de ciencia al conocer cómo se hace ciencia en la química computacional?

Por otro lado, no solo las carreras científicas requieren ser promovidas, sino las de enseñanza de las ciencias. En Colombia, particularmente, la demanda de profesores de Física supera a la oferta. Sin duda en este problema interfieren múltiples variables como son: salarios bajos y poco reconocimiento social, pero también contribuye la alta deserción académica que se da en las carreras de formación de profesores.

Por último, no podemos perder de vista que la educación en Ciencias tiene como uno de sus fines el ejercicio de la ciudadanía y que seamos adultos informados y responsables es fundamental para ese ejercicio, por lo cual, la perspectiva de ciencia integral podría contribuir a afianzar las habilidades, conocimientos y reflexiones para la toma de decisiones públicas y privadas por parte de los propios formadores de ciencias.

Después de la pandemia, encontramos que no necesariamente “saber de ciencia”, nos capacita para la toma de decisiones y posturas críticas sobre la “ciencia que se está haciendo”. En ese sentido, el abordaje de la HC desde una perspectiva de ciencia integral podría beneficiar en diferentes niveles tanto la práctica como la formación continua de los formadores de profesores de ciencias.

Los estudios de caso de la historia de las ciencias

En la propuesta de ciencia integral, una forma de poder abordar sus dimensiones en su integralidad, resaltando la interacción entre estas, es a través de estudios de caso de la HC. De hecho, el planteamiento de Allchin (2013) es presentado a través de múltiples casos históricos, no muy comunes, en los que procura ilustrar y ejemplificar la perspectiva de ciencia integral. Él menciona:

Los casos históricos pueden resultar relevantes para interpretar la NdeC (NOS). He aquí, pues, la principal estrategia para los profesores: representar la ciencia a través de ejemplos concretos, o estudios de casos. Para entender la práctica científica, hay que profundizar en esos casos históricos o contemporáneos, en lugar de basarse en

tópicos o afirmaciones fácilmente distorsionadas por prejuicios mal informados (ALLCHIN, 2013, p. 11, traducción propia³²).

En ese sentido, los estudios de caso son útiles para organizar y compactar la ciencia que podemos llevar al aula. Según Allchin (2013) “Sirven como pequeñas muestras o secciones transversales de la ciencia completa” (p. 31). Asimismo, un elemento que se resalta es que estos casos pueden ser históricos o contemporáneos. Al retomar la perspectiva de Kolsto (2001) apud Allchin (2013) sobre controversias y cuestiones sociocientíficas, muestra que estos casos no se excluyen, por el contrario, podrían complementarse, pues al abordar casos históricos de la “ciencia leída y hecha” (ALLCHIN, 2013, p. 18) conocemos de antemano su desarrollo y, por tanto, con el privilegio de la retrospectiva, podemos comprender el funcionamiento de la práctica científica. Por otro lado, los casos contemporáneos, nos ejercitan sobre la provisionalidad- sin escepticismos- de la ciencia y su posible interpelación a la sociedad. En palabras de Allchin (2013)

Comprender estas dos perspectivas complementarias es fundamental para el profesor de ciencias que utiliza la historia. Una mira hacia atrás, desde la ciencia ya hecha, y utiliza la respuesta "correcta" como punto de referencia. La otra mira hacia adelante, desde la perspectiva de la ciencia en construcción, y (como un científico en activo) se basa únicamente en las pruebas y el razonamiento como punto de referencia (ALLCHIN, 2013, p. 42).

Es posible si nos enfocamos en las preguntas y problemas, más que en los productos o figuras destacadas en la ciencia, destacando los contextos históricos, emociones y sensaciones de la práctica científica, que pueden estar muy presentes en la ciencia en construcción.

Uno de los elementos que resalta Allchin (2013) fundamental para la comprensión de la práctica científica y la fiabilidad en la ciencia, es el lugar del error en la ciencia. lejos de posturas escépticas, el error es constitutivo de la actividad científica y podría tener un lugar destacado para abordar aspectos de la NdeC.

Para finalizar, usar casos históricos de la ciencia en el aula plantea algunos retos: ¿cómo escogerlos? ¿Cómo desarrollarlos en el aula de clase? ¿cómo evaluarlos? Y, por último, específicamente para los formadores de profesores de Ciencias ¿cómo incorporarlos a la propia praxis educativa, en contextos de comunidades de práctica profesional? Este último reto lo abordamos en el capítulo 5 de esta tesis.

32 Historical cases can prove relevant interpreting NOS. Here, then, primary strategy for teachers: to render science through concrete examples, or case studies. Aiming to understand scientific practice, one should delve into such historical or contemporary cases, rather than rely on platitudes or claims easily distorted by ill-informed preconceptions (ALLCHIN, 2013, p.11).

Las consideraciones sobre los aportes de la HC en la NdeC desde una perspectiva de ciencia integral son relevantes para esta tesis, pues coincidimos en la necesidad de llevar casos históricos concretos al aula de clase para no generar imágenes enyesadas de la ciencia.

Por último, presentamos una síntesis de algunas propuestas que presentan los beneficios de la HC en la formación de profesores de ciencias y la EC, con las que coincidimos.

Cuadro 10 – Síntesis de beneficios de la HC en la formación de profesores y EC

MATTHEWS (2012)	ALLCHIN (2013)	IZQUIERDO <i>et al.</i> (2016)
La HFC pueden humanizar las ciencias y vincularlas con intereses personales, éticos, culturales y políticos	Contextualizar y motivar la ciencia	La HC proporciona contextos a los conocimientos emergentes y saca a la luz aportes al conocimiento científico que no se han tenido en cuenta porque fueron desarrollados por colectivos poco relevantes (mujeres, por ejemplo) o fueron considerados erróneos o irrelevantes.
La HFC puede hacer del aula un lugar más desafiante y promover el razonamiento y la habilidad de pensar en forma crítica	Aclarar conceptos	Sugiere preguntas desafiantes sobre la emergencia de las entidades científicas con las que hoy se explica el funcionamiento y estructura del mundo material (Átomo y moléculas, entre otras, Izquierdo-Aymerich <i>et al.</i> , 2009).
La HFC puede ayudar a comprender en forma más plena un tema científico	Revelación de conceptos erróneos	Ilustra la naturaleza de las ciencias, al dejar en evidencia la complejidad de la actividad científica de las personas que se dedicaron a ella (Vallverdú <i>et al.</i> , 2010).
MATTHEWS (2012)	ALLCHIN (2013)	IZQUIERDO <i>et al.</i> (2016)
La HFC puede mejorar la formación de maestros	Celebrar los logros	Permite reconocer las ideas de los estudiantes al interpretar los fenómenos, al descubrir que existe un cierto paralelismo entre ellas y las explicaciones que se dieron a estos mismos fenómenos en otros momentos históricos (Viennot, Viennot, 1979, Driver <i>et al.</i> , 1985
La HFC puede ayudar a los maestros a apreciar los problemas de aprendizaje de los alumnos	Promover las carreras científicas	Invita a leer buenas historias en las que los científicos y científicas narran sus vivencias de ‘hacer ciencia’ y en las que reflejan lo que su tarea tiene de aventura intelectual (Project Physics, 1971).
La HFC puede contribuir a evaluar de forma más clara buena parte de los debates educativos entre maestros y diseñadores de programas escolares.	Desarrollar la capacidad de indagación	Inspira nuevas estrategias de presentar temas complejos (tales como la dramatización de eventos relevantes.
	Perfilar la naturaleza de la ciencia	
	Destacar la ciencia como algo social	
	Retratar los contextos culturales de la ciencia	

Fuente: Adaptado de Matthews (2012), Allchin (2013) e Izquierdo-Aymerich *et al.* (2016).

3.2.2.2 La naturaleza de la ciencia en Iberoamérica.

Después de este breve paso por algunos enfoques alternativos sobre la Naturaleza de la Ciencia, (NdeC), es importante ubicar esta discusión en el contexto Iberoamericano y preguntarnos por la tradición que se ha establecido alrededor de los estudios de naturaleza de la ciencia en Latinoamérica. Según la investigación desarrollada por Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2018) sobre los consensos y disensos en la comunidad iberoamericana de Didáctica de las ciencias sobre la NdeC, ellos mapean las definiciones presentes en 14 artículos de investigación, entre el 2007 y 2011, encontrando que tres de ellas son predominantes.

La primera definición proveniente del grupo español del profesor José Antonio Acevedo Díaz (2007) que propone asumir la NdeC, reconociendo su carácter complejo y dialectico, *como un metaconocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia* (ACEVEDO DÍAZ *et al.*, 2005, 2007; ACEVEDO DÍAZ, 2008 apud AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018).

Por su parte, Guisasola y Morentin (2007 apud AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018) mencionan que la NdeC

combina aspectos de diferentes áreas del conocimiento como la historia, la sociología y la filosofía de la ciencia con el objetivo de explorar qué es la ciencia, cómo trabajan los científicos como grupo social y cómo la sociedad gestiona los problemas derivados de la actividad científica (GUISASOLA; MORENTIN, 2007 apud AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018, p. 37-38).

Y, por último, la definición propuesta por Adúriz-Bravo (2005) que *caracteriza la NdeC como un conjunto de contenidos meta científicos con valor para la enseñanza de las ciencias*. Su argumentación a favor de esta definición “amplia” se justifica porque:

sitúa a la NdeC en el ámbito de las metaciencias, que son disciplinas de carácter científico, compatibles con la ciencia a enseñar y “enseñables” dentro del mismo espacio curricular. Segundo, porque la expresión “NdeC” no separa las diversas fuentes de las ideas a enseñar; tales ideas provienen principalmente de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, tres disciplinas entre las que se disputa una delimitación estricta incluso entre sus propios especialistas. En tercer lugar, porque cuando se habla de la esencia educativa de las NdeC, su construcción requiere auténticas transposiciones didácticas, y no la simple incorporación de contenidos “ajenos” (ADÚRIZ-BRAVO, 2005, p. 44, traducción propia)

Esta revisión de definiciones evidencia el papel destacado que tiene la HFSC en la línea de investigación de NdeC en Iberoamérica y en el campo de la Didáctica de las ciencias. Por esta razón, en esta tesis nos inclinamos por destacar los posibles aportes de la HFSC en la formación y praxis de formadores de profesores de ciencias, esto es, discutir cuales son esos

contenidos instrumentales de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018, p. 31), que afirmamos, los futuros profesores de ciencias deben saber para llevar al aula de clase mejor dicho, y recogiendo las preguntas planteadas como consideraciones didácticas por Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2018, p. 39), *¿Qué NdeC deberíamos enseñar? ¿Por qué deberían enseñarse la NdeC? ¿Cómo se puede enseñar a los diferentes públicos?* (ACEVEDO DÍAZ et al., 2005, 2007; ADÚRIZ-BRAVO 2005; FERNÁNDEZ et al., 2002 apud ADÚRIZ-BRAVO, 2018, p. 39). Resulta bastante evidente que la respuesta a la pregunta de qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores y profesoras de ciencias no puede ser unívoca, en tanto que necesitamos que los contenidos meta científicos incidan en diversas dimensiones de nuestro conocimiento y de nuestra práctica profesional.

Coincidimos con Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2018), quienes afirman que generar cambios en las prácticas, el currículo, la formación y desarrollo profesional de profesores

requiere asumir explícitamente una posición reconocible desde la filosofía de la ciencia que exprese nuestros puntos de vista sobre la actividad científica y sus practicantes, sobre los productos derivados de dicha actividad y sobre sus implicaciones sociales. Una investigación de calidad sobre la didáctica de la ciencia requiere un posicionamiento epistemológico (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2018, p. 32).

En ese sentido, consideramos que las y los formadores podrían beneficiarse tanto en su formación como en el desarrollo profesional, de la perspectiva de ciencia integral, en la que se considera la complejidad tanto de la actividad científica como sus impactos en la sociedad.

Por último, si bien una perspectiva de la ciencia integral en la enseñanza de las ciencias puede brindar elementos para la toma de decisiones públicas y privadas, es posible que no sea suficiente. También se requiere una perspectiva de la “tecnología integral”. La tecnología, sin lugar a dudas, juega un papel fundamental en la sociedad actual. En diferentes épocas, podemos encontrar una práctica tecnológica que no necesariamente se pliega a la práctica científica, por tanto, la naturaleza de la tecnología no está contenida en la naturaleza de la ciencia, por lo cual sería importante señalar sus vínculos con esta y sus particularidades para la enseñanza de las ciencias y particularmente la formación de profesores de ciencias. Sin estas reflexiones, estaríamos replicando el determinismo tecnológico que nos lleva por caminos en los que la tecnología cada vez más es manejada por unos cuantos a su beneficio, imponiendo la dinámica geopolítica e impactando las formas de organizaciones a micro y macro escala, afectando la toma de decisiones en diferentes aspectos de la vida social. A continuación, presentamos

algunas reflexiones sobre la naturaleza de la tecnología en la formación de profesores de ciencias.

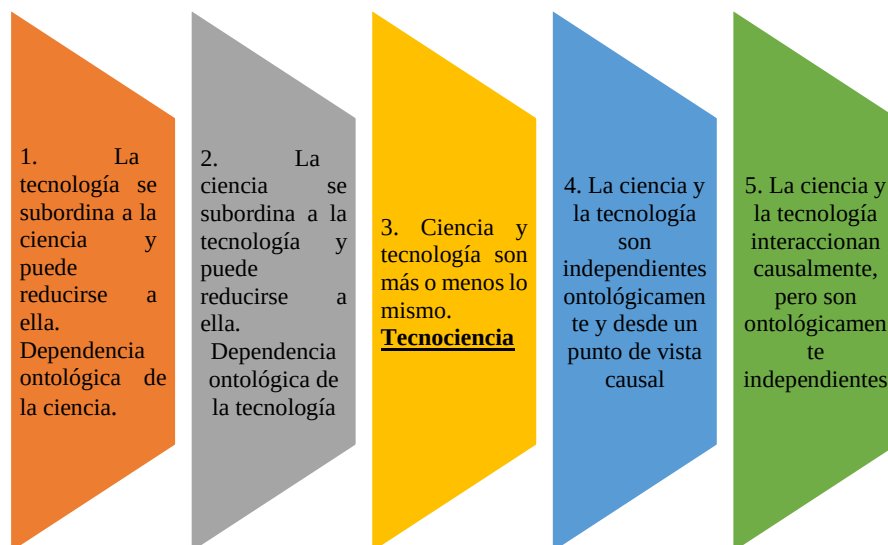
3.2.1 *La naturaleza de la tecnología, una cuestión en deuda en la formación de profesores de Ciencias Naturales.*

Maiztegui *et al.* (2002) publicaron un artículo en el cuál analizan la enseñanza de la tecnología y muestran cómo ha sido un aspecto olvidado por los investigadores y profesores. La investigación desde los años ochenta viene trabajando las relaciones CTS y la necesidad de una alfabetización científica, sin embargo, usualmente el foco está en la ciencia, asumiendo con poca reflexión su relación con la tecnología.

Frente a esto los profesores mencionan:

Hablar, pues, de la tecnología como ‘dimensión olvidada’, tal como hacemos en el título de este apartado, no supone únicamente señalar una insuficiente presencia de la tecnología en la educación científica, sino, en primer lugar, reconocer una falta de reflexión -que afectaría a los mismos investigadores- acerca de la naturaleza y el papel de la tecnología (MAIZTEGUI *et al.*, 2002, p. 3).

Por tanto, se hace latente la necesidad de continuar la reflexión desde la educación científica en torno al papel de la tecnología en la formación de ciudadanías críticas y en una HFSC en la EC desde una perspectiva sociopolítica. Un punto inicial es reconocer las concepciones sobre tecnología y sus relaciones con la ciencia, con el propósito de comprender las complejas relaciones que a lo largo de la historia se han venido construyendo entre las dos: Ciencia y Tecnología, y analizar críticamente su papel en la sociedad actual. Díaz *et al.* (2003) citando a Niniluoto (1997) presenta una breve descripción de cinco modelos de relaciones entre ciencia y tecnología posibles, que tienen implícita una noción de esta última. A continuación, en la Figura 21 se recogen estos modelos.

Figura 21 – Modelos sobre las relaciones Ciencia y Tecnología

Fuente: Adaptado a partir de Díaz *et al.* (2003).

Lejos de establecer un modelo fijo, lo que se evidencia es que la comprensión de estas relaciones depende de las nociones que se tienen tanto de la ciencia como de la tecnología, por lo cual es de especial interés en la formación inicial de profesores discutir estos elementos propios de la Naturaleza de la Ciencia y de la Tecnología, en adelante NdeCyT. Continuando con las creencias sobre la tecnología, es de resaltar que es dominante la de considerar la tecnología como ciencia aplicada (MAIZTEGUI *et al.*, 2002). De hecho, en investigaciones desarrolladas por Acevedo (2001), Manassero y Vázquez (2002), Manassero, Vázquez y Acevedo (2001) apud Romero *et al.* (2003) se evidencia que los profesores y estudiantes sostienen la idea de la tecnología como sinónimo de ciencia aplicada y agrega:

Es corriente, pues, que ignoren (los estudiantes) la existencia de fenómenos que la ciencia ha podido abordar no sólo gracias a los avances tecnológicos que han facilitado la instrumentación necesaria para investigarlos, sino porque han sido artificialmente creados por la propia tecnología. (MANASSERO; VÁZQUEZ, 2002, p. 365 apud ACEVEDO ROMERO *et al.*, 2003).

La relación entre Ciencia y Tecnología es un aspecto crucial para actuar y tomar una postura crítica, contextual y compleja frente a los dilemas y aportes que la tecnología y su uso proporcionan a la sociedad. A continuación, se discuten tres conceptos que se recogen del campo de los estudios sociales de la Tecnología: Técnica, tecnología y práctica tecnológica, que propenden elucidar las raíces de las anteriores creencias y discutir lo que Ferreira-Gauchia, Vilches y Gil-Pérez (2012) llaman imágenes distorsionadas de la tecnología. Es probable que estas tengan su origen en las nociones de técnica y tecnología, como se muestra a continuación.

Técnica, tecnología y práctica tecnológica

La definición de técnica ha sido tema de diferentes filósofos e historiadores de la técnica y la tecnología, sin embargo, un consenso es que ella hace parte de lo que significa ser hombre. Ortega y Gasset (1982, p. 41 apud LAWLER; SANDROME, 2020) menciona: *No hay hombre sin técnica*, que se puede inferir como un aspecto constitutivo de la humanidad y que nos diferencia de otras especies. Así mismo, se asocia al poder creativo y transformador que tenemos sobre la naturaleza y nosotros mismos. Por tanto, se hace evidente la existencia de la técnica precientífica y por un periodo de tiempo importante, así como la no existencia de relaciones entre la técnica y la ciencia.

Una de las posibles causas de esta separación es que el objetivo de la técnica ha sido principalmente tratar problemas concretos, en comparación con la ciencia que se propone la consolidación de un cuerpo racional de conocimientos. Según Maiztegui *et al.* (2002) esta separación se extendió hasta el siglo XIX y aunque algunos científicos se aproximaron a la técnica, la mayor parte de los que contribuyeron a su desarrollo fueron maestros de oficios y artesanos cuyas actividades se basaban, en general, en experiencias prácticas que se transmitían de maestros oficiales a aprendices y evolucionaban lentamente. Por tanto, las relaciones entre tecnología y sociedad son mucho más recientes, lo que contradice la idea de que la tecnología es subsidiaria de la ciencia.

Acevedo (2006) justamente menciona que la noción de tecnología es poliédrica y por tanto el significado de la tecnología ha ido variando a lo largo del tiempo, además de ser diverso en la vida cotidiana. Frente a esto recoge algunos significados, citando a Osorio (2002) como son:

- a) El conjunto de productos artificiales fabricados por las personas (herramientas, instrumentos, máquinas, artefactos y todo tipo de sistemas).
- b) Los conocimientos técnicos, metodologías, capacidades y destrezas necesarias para poder diseñar y realizar las tareas productivas (actividades relacionadas con la pericia técnica, el saber hacer o know-how).
- c) Los recursos humanos y materiales del sistema sociotécnico de producción.
- d) El sistema sociotécnico necesario para el uso y mantenimiento de los productos fabricados, incluyendo los aspectos legales.

La primera noción es la más común y corresponde a la perspectiva artefactual de la tecnología, así mismo, la cuarta, asociada a los recursos humanos es la que usualmente menos se tiene en cuenta. Con respecto a esto, desde la perspectiva de la sociología de la tecnología es posible definir la tecnología como un *sistema complejo, con una serie de componentes heterogéneos que se relacionan entre sí (instrumentos y artefactos técnicos, procesos de producción, control y mantenimiento, cuestiones organizativas, aspectos científicos, asuntos*

legales, recursos naturales y artificiales...), con las personas y el medio ambiente (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 1996; HUGHES, 1983, 1987; OSORIO, 2002; PACEY, 1983, 1999; QUINTANILLA, 1988, 1998 apud ACEVEDO, 2006).

Como se puede ver, esta última perspectiva tiene elementos interesantes a la formación de formadores y presenta una visión compleja y crítica de la tecnología, por lo cual es la adoptada en este trabajo.

3.2.2 Algunos aportes de las epistemologías feministas a la formación de profesores de Física.

Reconocer la ciencia como una actividad humana implica cuestionar, por un lado, quienes son las personas que desarrollan esta actividad y por otro, considerar que, en toda actividad humana, la dimensión política y las relaciones de poder se hacen presentes y la Ciencia no es la excepción. Así, desde los estudios de la ciencia desde una perspectiva de género y particularmente las epistemologías feministas han planteado las siguientes preguntas: “¿cómo influye el género sobre los métodos, conceptos, teorías y estructuras de organización de la ciencia? y ¿cómo es que la ciencia reproduce los esquemas y prejuicios sociales de género?” (GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012, p. 21). Su principal crítica ha consistido en evidenciar cómo se privilegia el punto de vista masculino, en una perspectiva androcéntrica.

En ese sentido Blazquez Graf y Chapa Romero (2018) menciona:

Durante las tres últimas décadas, los estudios de ciencia y género han desarrollado un gran repertorio de herramientas de análisis y técnicas de investigación que señalan y corrigen representaciones inadecuadas, argumentos fallidos, sesgos personales, prejuicios sociales, distorsiones y desinformación en conceptos, teorías y métodos de investigación. (BLAZQUEZ GRAF; CHAPA ROMERO, 2018, p. 9).

Con ello se ha avanzado en análisis que develan los mecanismos, distorsiones y ausencias de todas aquellas personas excluidas, silenciadas y/o no reconocidas en la producción, difusión y comunicación de la Ciencia. Por tanto, para desarrollar estos análisis, se ha utilizado la categoría <género> que, junto con otras categorías como: clase, raza, edad, orientación sexual, y desde una perspectiva interseccional, se consideran constitutivas de la exclusión y los sesgos en la ciencia. En ese sentido, la epistemología feminista tiene como temas centrales: *la crítica a los marcos de interpretación de la observación; la descripción e influencia de roles y valores sociales y políticos en la investigación; la crítica a los ideales de objetividad, racionalidad, neutralidad y universalidad, así como las propuestas de reformulación de las estructuras de autoridad epistémica*. En este sentido y usando las preguntas clásicas: qué, cómo, cuándo, para qué y desde dónde, unido a los contextos de la ciencia (MAFFIA, 2012) y

tecnociencia (ECHEVERRIA, 1995): descubrimiento, justificación, aplicación, transferencia y educación, podemos plantear un esquema que muestra la complejidad de la empresa emprendida por los estudios de género en la crítica a la ciencia androcéntrica. (Véase Figura 22).

Figura 22 - Críticas y propuestas de la epistemología feminista y los estudios de género en la Ciencia



Fuente: Elaboración propia.

La investigación en epistemología feminista, como se puede ver, ha consolidado una agenda de investigación, develando las formas de comprender el conocimiento, los temas y métodos de investigación científica y se ha nutrido de diversos cuestionamientos de grupos sociales que la interpelan y proponen abordajes diferentes a sus categorías y métodos, por ejemplo la categoría género, que es vista como un legado colonial desde los feminismos decoloniales, así como el cuestionamiento de las relaciones centro/periferia que denotan los lugares de producción, apoyo y consumo de la ciencia teórica (MAFFIA, 2012), combatiendo la visión desde ninguna parte que la filosofía de la ciencia convencional ha legitimado (HARDING, 2004 apud GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012). Esta complejidad que se representa busca mostrar que la lucha por el reconocimiento y acceso a la ciencia de personas históricamente subalternizadas, requiere cuestionar prácticas, discursos, representaciones y políticas que se movilizan en diversos espacios como son el laboratorio, la Universidad, el aula de clase, los medios de comunicación y redes sociales, entre otros.

A continuación, se presenta brevemente una síntesis de tres abordajes de la epistemología feminista, construida desde (GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012)

que son: a) el punto de vista feminista; b) el Posmodernismo feminista y; c) el Empirismo feminista.

La teoría del punto de vista, propuesto por filosofas como Nancy Hartsock, Evelyn Fox Keller y Sandra Harding, se desarrolla en los años ochenta y tiene un importante papel en la epistemología feminista, por lo que muchas investigaciones la han usado, no sin críticas. Una de sus características es considerar que algunas luchas políticas podrían contribuir al desarrollo del conocimiento, en vez de interferir en la indagación científica, cuestionando el núcleo cognitivo y técnico de las Ciencias Naturales y problematizando el contexto de descubrimiento. En efecto, el sujeto que conoce se ubica en una clase social determinada, desde donde representa el mundo y, por tanto, la experiencia cobra un lugar especial en la construcción de conocimiento. Según Harding (2004) apud Graf, Palacios Flores y Everardo (2012) los proyectos del punto de vista han contribuido de forma crítica en las Ciencias Naturales de dos maneras; por un lado, develando la forma en que se constituyeron las hipótesis, teorías y métodos en ramas como la primatología y la biología, bajo sesgos sexistas, androcéntricos, eurocéntricos y racistas que dieron lugar a “descripciones parciales y tergiversadas de las regularidades de la naturaleza y sus tendencias causales subyacentes, mostrando rasgos ocultos de las formas de pensar dominantes” (p. 41). Así mismo, estos proyectos analizaron y cuestionaron la pertinencia de los estándares científicos para lograr la objetividad, así como el “buen método científico” que se rigen por estos. En ese sentido, como afirma Harding (2004 apud GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012) los proyectos del punto de vista requieren ciencia y política, además se caracterizan por mirar hacia arriba y estudiar las ideologías en las instituciones sociales dominantes. Entonces, la política pasa a ser un aspecto relevante en el análisis y en una posición diferente de rechazar la política en la ciencia, reformula nuevas preguntas como son: “cuáles políticas favorecen y cuáles obstruyen el desarrollo del conocimiento, y para quiénes (qué grupos) tales políticas favorecen u obstruyen el conocimiento” (HARDING, 2004, p. 49, apud GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012). Además, también ubica datos nuevos que evidencian cómo opera una estructura social jerárquica para generar opresión y desventaja, por ejemplo, usando categorías y etiquetas como “anormal” o “natural”. Una tercera característica es que procura resignificar las experiencias y la forma en que éstas se piensan, moldeando nuevas comprensiones que se alejan de las representaciones dominantes. Por último, pero no menos importante, es el carácter colectivo de los proyectos del punto de vista, pues reconociendo que es una lucha de grupos desfavorecidos (de lucha de clases), el individuo adquiere una conciencia colectiva o grupal (HARDING, 2004,

apud GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012) al reconocerse en una colectividad, en la que se requiere ciertos conocimientos para sus proyectos emancipatorios, esto es: “los proyectos feministas del Punto de vista siempre están socialmente situados y políticamente comprometidos en formas prodemocráticas” (p. 52). Por tanto, se problematiza el sujeto que conoce, pues en la filosofía de la ciencia convencionales se supone un individuo cognoscente universal, no situado. El punto de vista va a ubicar el individuo como parte de un colectivo y su acercamiento a la ciencia como parte de la lucha de clase, el conocimiento en relación con el poder, por tanto, se cuestiona desde donde y como emana la verdad, esto es el método científico, la objetividad, y la neutralidad. Sin embargo, una de las críticas a la teoría-metodología del punto de vista está asociada a posturas esencialistas sobre el punto de vista femenino. Así, sus críticos sostienen que:

no siempre hay bases para decidir cuál punto de vista tiene el privilegio epistémico y [...] las mujeres no pueden tener acceso privilegiado para entender su propia opresión, ya que ésta adquiere diferentes formas para distintas mujeres, dependiendo de su raza, orientación sexual, etnia o edad, por lo que se cuestiona la posibilidad de unificar un solo punto de vista de las mujeres (GRAF; PALACIOS FLORES; EVERARDO, 2012, p. 32).

Por tanto, la categoría “mujer” es cuestionada, pues teniendo como foco la experiencia de las mujeres, ésta no es única y depende de múltiples factores, que, desde un punto de vista interseccional, explican la diversidad de experiencias. Esto es ¿el punto de vista de que mujer se privilegia?

El posmodernismo feminista retoma esta crítica y desde los trabajos de Susan Hekman y Donna Haraway ponen el énfasis en el cambio constante de la identidad y la necesidad de construir una unidad a través del reconocimiento de la diferencia y las afinidades. En ese sentido, el foco está en la crítica a categorías como “género” o “mujer”. Donna Haraway en su famoso ensayo *Manifesto for the Cyborgs: Science, Technology and socialist feminism in the Late Twentieth Century*, menciona frente a esto:

Depois do reconhecimento, arduamente conquistado, de que o gênero, a raça e a classe são social e historicamente constituídas, esses elementos não podem mais formar a base da crença em uma unidade “essencial” (HARAWAY, 1984 apud HOLLAND, 2019, p. 165).

En ese sentido, la categoría de “mujer” también resulta problemática bajo esta idea de identidades *permanentemente parciales y posiciones contradictorias* pues enmascara una matriz de dominaciones que unas mujeres ejercen sobre otras. Retomando las discusiones de los feminismos de mujeres de color en Estados Unidos, particularmente el término “consciencia de oposición” de la feminista chicana Chela Sandoval, evidencia cómo estas identidades se

construyen no a través de una unidad homogeneizante y totalitarista, sino a través de la diferencia, de lo otro, de la diversidad a través de la afinidad y respondiendo a los procesos de descolonización. Esto es, *la lucha teórica y práctica es contra la unidad- por medio de la dominación- o contra la unidad por medio de la incorporación que reverberan en los ismos: capitalismo, colonialismo, cientificismo, positivismo*. Así mismo, evidencia como categorías binarias, bajo el sistema tecnológico, adquieren nuevos rótulos, con las mismas prácticas, poniendo el énfasis en los discursos y textos como tecnologías que producen subjetividad y representaciones del mundo. que se construyen en fronteras difusas de animal-humano/maquina-humano y físico-no físico.

Por último, el llamado feminismo empirista, con investigadoras como Helen Longino, Nancy Tuana y Elizabeth Anderson que reafirma la idea de que es posible encontrar una perspectiva desde la cual observar y generar conocimiento, que puede ser imparcial y racional. Propone que la falta de objetividad y la presencia de prejuicios ocurren por fallas humanas para seguir apropiadamente el método científico; señala que la buena investigación se puede realizar tanto por hombres como por mujeres, y que ambos pueden usar la crítica feminista, ahora que se han revelado las fallas en la investigación por los sesgos de género. Su foco está en detectar cuando el posicionamiento genera error y constituye una fuente dañina para el avance del conocimiento, con el fin de corregir esos prejuicios. Longino propone una nueva teoría de la objetividad, al mirarla como propiedad de una comunidad científica e identifica las condiciones en las cuales el conocimiento social puede considerarse objetivo. Helen Longino propone que tratar la subjetividad como variable condicionada y el conocimiento como algo afectivamente modulado, plantea oportunidades nuevas para entender los fenómenos, reconociendo que las explicaciones que dan cuenta de los procesos estudiados se han desarrollado desde posiciones particulares y que reflejan orientaciones afectivas particulares, por lo que podemos aceptar también que pueden emerger apreciaciones diferentes a partir de otras posiciones con orientaciones emocionales diferentes

Las tres aproximaciones teóricas revisadas coinciden cada vez más en un pluralismo y rechazan las teorías totalizadoras, así como el proyecto epistemológico tradicional de validación de las normas epistémicas desde puntos de vista universales, porque niegan que se pueda tener ese punto de vista. Por tanto, así como Galileo descentró la tierra de su lugar privilegiado y la dejó en ningún lugar privilegiado, como otros cuerpos celestes, así mismo, el avance de la epistemología feminista al propender por un conocimiento situado descentró a los sujetos y sus posiciones epistemológicas privilegiadas, esto es, todos podemos conocer de

diversas formas, no hay único método ni sujeto de la ciencia. La objetividad se maximiza en la confrontación de distintas subjetividades. La fuerza normativa se intenta preservar en estos enfoques a través de la articulación del conocimiento como proceso y producto social, sometido a los estándares de crítica y legitimación de la comunidad científica.

La imagen androcéntrica de la ciencia no sólo está presente en las comunidades científicas, también en otros ámbitos de la sociedad como la escuela, la publicidad y los medios de comunicación, que constantemente divulgan una visión de ciencia altamente estereotipada, masculina, alejada de lo cotidiano, aburrida y difícil de comprender (FERNÁNDEZ *et al.*, 1995) apud MANASSERO MAS; VÁZQUEZ ALONSO, 2003 p. 272).

A continuación, se presentan algunos de los estudios que han avanzado en comprender y transformar una enseñanza de las Ciencias Naturales androcéntrica, sexista y excluyente.

3.2.4.1 Los estudios de género en la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la formación de profesoras y profesores de Ciencias.

En los últimos años, las discusiones en las comunidades de investigadores y formadores en Enseñanza de las Ciencias sobre desigualdad y discriminación basada en género han avanzado en reconocer algunas prácticas, discursos y concepciones que causan y/o perpetúan estas desigualdades en la academia y el aula.

Según Chetcuti (2009) la/el docente es un sujeto que trae consigo al aula, una compleja red de experiencias, habilidades, conocimientos, perspectivas e intereses, incluida su propia experiencia, su identidad de género, así como sus expectativas frente a sus estudiantes. Desde allí, se posiciona frente a las relaciones ciencia-género y establece modos de interacción y comunicación con sus estudiantes (GRAY; LEITH, 2004). Estas creencias se desarrollan a través de la socialización y hacen parte de una cultura heredada (MURPHY; WHITELE-GG, 2006), que, según Duarte *et al.*, (2010) reflejan lo que sucede en la sociedad y los estereotipos que existen acerca de la ciencia y el género.

En ese sentido, la profesora Johana Camacho (2020), recogiendo los aportes del feminismo a la Educación en Ciencias, menciona que en las décadas 80' y 90' se vienen desarrollando investigaciones y estudios de la perspectiva de género en la educación científica, mostrando particular interés en las diferencias de rendimientos entre niñas y niños y de las que derivaron *iniciativas a nivel estructural y políticas públicas principalmente enfocadas hacia la equidad y acceso de las mujeres en la educación* (SCANTLEBURY; BAKER, 2007; SCANTLEBURY, 2012 apud CAMACHO-GONZÁLEZ, 2020).

Uno de estos estudios, por ejemplo, desarrollado por la profesora Anguita Martínez (2011, p. 4), describe elementos de desigualdad por parte de profesores de Ciencias, como son:

a) el uso generalizado del lenguaje sexista que hace que las y los estudiantes asocien lo masculino con lo total, invisibilizando la existencia y participación de las mujeres u otras identidades de género diversas o no hegemónicas; b) materiales educativos y un currículo androcéntrico que se evidencia en el predominio de la imagen del varón adulto, blanco, heterosexual, letrado, clase media-alta en las disciplinas y libros de texto que se imparten en estos centros educativos, entre otras. Así, se deja por fuera los aportes y las culturas de otros grupos de personas, resultando no solo en un planteamiento sexista sino racista y clasista (MORENO, 1986); c) el uso y abuso de estereotipos de género para definir las acciones realizadas por un sexo u otro; d) la falta de representación de las mujeres, las personas trans y no binarias a través del reconocimiento de sus actividades/conocimientos, así como de las contribuciones históricas en todos los campos del conocimiento humano (ANGUITA MARTÍNEZ, 2011, p. 4).

Sumado a ello, persisten elementos más sutiles y menos evidentes como el trato diferenciado a estudiantes según su identidad, expresión de género y orientación sexual, así como la ausencia de contenidos y reflexiones en el currículo sobre cuestiones de autocuidado y violencia de género que, al parecer, aún se piensan en la esfera de lo privado y, por tanto, no se contemplan de manera explícita en el currículo.

En la misma vía, Solsona (2011) plantea que la enseñanza de las ciencias ha sido diferente para niños y niñas. Los primeros, privilegiados por poder acceder a una educación más científica, y las segundas relegadas a los quehaceres domésticos, aprendiendo desde muy pequeñas que su único deber era ser excelentes amas de casa. Pese a que este tipo de enseñanza discriminatoria ha cambiado con el tiempo, se puede percibir que en la actualidad se sigue impartiendo una ciencia androcéntrica, lo que conlleva a que los y las maestras de ciencias enseñen un “currículo oculto” como lo denomina Solsona, y quien lo define como:

Aquellas facetas de la vida escolar de las que se aprende sin que maestras y maestros seamos conscientes de sus efectos, ni los niños y las niñas perciban su transmisión. El androcentrismo que permea la escuela, el modelo de ciencia y las expectativas del profesorado respecto a los resultados escolares forman parte del currículum oculto, en la actividad científica (SOLSONA, 2011, p. 23).

Este currículo oculto ha ocasionado que en las clases de ciencia se vea marcado el sexismo y esto lleve a que se presente una desigualdad social determinando diferentes intereses de estudio para niñas y niños. Por lo tanto, tenemos una sociedad en la que es menos probable encontrar mujeres interesadas por las ciencias y/o ocupando cargos importantes en las instituciones científicas y tecnológicas. En contra partida, aún es difícil encontrar hombres interesados en profesiones asociadas al cuidado, como es la enfermería, educación infantil, entre otras. En efecto, estas investigaciones han abierto una nueva línea de investigación y formación en Enseñanza de las Ciencias, que según Barros Vidor *et al.*, (2020, p. 1.097): “A

pesquisa em gênero na educação em ciências investiga as causas das desigualdades de gênero no engajamento científico e possíveis formas de superá-las, e dá atenção especial aos impactos do gênero no ensino e na aprendizagem das ciências”.

Esta definición va al encuentro de lo mencionado por Rodríguez (2008), quién considera la perspectiva de género en la enseñanza de las ciencias como un:

Enfoque que permite el análisis de los diferentes fenómenos económicos, sociales, políticos y culturales a partir del reconocimiento de las diferencias de comportamientos, oportunidades, creencias, responsabilidades y roles asignados a cada uno de los géneros; que ha favorecido la configuración de nuevos desarrollos teóricos y enriquecido el saber científico en sus áreas sociales (RODRÍGUEZ, 2008, p. 5).

En este sentido, la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva de género, no se limita únicamente a tratar la exclusión de las contribuciones de las mujeres científicas, ni agregar mujeres como sujetos únicos de conocimiento, ni al estudio de la situación de las mujeres como víctimas del patriarcado; sino a la recuperación de la experiencia de las mujeres y personas que han sido histórica y socialmente excluidas de la producción, transferencia y comunicación del conocimiento científico. Así, la comprensión tanto de los aportes, como las barreras y procesos de resistencia en la ciencia de personas Trans, homosexuales, racializadas, de clases sociales desfavorecidas, es un imperativo. Sin embargo, se ha evidenciado que, en este proceso, una barrera común es la visión de ciencia recurrente en los docentes de Ciencias Naturales, que consiste en “considerar las ciencias experimentales como un terreno neutral, igualitario y libre de discriminación de cualquier tipo, fruto de la imagen aséptica de la ciencia que se nos ofrece” (NUÑO, 2000).

Estas visiones distorsionadas de la ciencia provocan desinterés y actitudes negativas en mujeres y personas de la comunidad LGBTIQ+ que no se ven representadas en la ciencia y, al contrario, sus identidades y experiencias pueden llegar a ser cuestionadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, evidenciar este tipo de elementos que generan desigualdad y exclusión, implica pensar la formación de las y los futuros profesores, pues la inclusión de la perspectiva de género en la formación docente ha sido debatida en muchos países. Pese a ello, falta mucho para que se condense en políticas institucionales que generen un impacto real en los planes de formación docente, pues lastimosamente, los planes priorizan el desarrollo de competencias para el mercado y las habilidades del siglo XXI, y dejan por fuera esta discusión que hace parte de la realidad de sus estudiantes.

Desde una mirada amplia de la formación de profesores, se requiere desnaturalizar prácticas y discursos sobre la masculinidad y la feminidad que determinan accesos desiguales a oportunidades, así como la violencia de género que actualmente es uno de los mayores problemas en Latinoamérica. Esto es, se requiere dotar de elementos teóricos y metodológicos para leer la realidad y transformarla.

No es una tarea fácil. Uno de los retos actuales de la formación de profesores es justamente institucionalizar la perspectiva de género e integrarla a un currículo que permita el desarrollo de competencias para la equidad de género en los centros educativos, tanto de educación superior como media y básica.

En esa medida, como expone Donoso y Velasco (2013) en las universidades es importante que se desarrolle en los estudiantes, la adquisición de una nueva conciencia de la realidad y de nuevos marcos de interpretación de esta porque “el saber oficial es un saber parcial y, por tanto, acientífico y es necesario ampliar los horizontes del saber y el conocimiento para un mejor desarrollo social y personal”. Esa insistencia de buscar ser “seres integrales”, debe partir del compromiso personal y colectivo, en reconocer las diversidades de pensamiento en cuanto al género. Por más que suene a invitaciones reiterativas, es claro que aún no logra el efecto esperado, porque como cita Ventura (2008) en Donoso y Velasco (2013, p.75):

La consolidación de estos estudios en las instituciones académicas en general no es un acto de reconocimiento académico sin más, es el aprovechamiento de una contribución científica importante en la construcción de un mundo más igual y solidario, y que, entre otras cosas, ha servido para fundamentar todos los cambios que se han producido en relación con la igualdad de mujeres y hombres.

Tomando como referencia las preguntas planteadas por Fernández (2010 p. 79) y alejándonos de una postura binaria, en esta investigación se reformulan esas preguntas y se cuestiona:

¿En qué medida el orden patriarcal del mundo y las condiciones que impone permiten a las personas la satisfacción, realización plena y el crecimiento personal? b) ¿Es la ciencia, incluso en nuestros días, androcéntrica? c) ¿La presencia significativa de personas de diversas identidades de género y culturales en la ciencia, relativamente reciente, habrá traído consecuencias en los diseños, problemas, métodos y concepciones científicas? d) ¿Podría cambiar ello la noción de lo que es entendido como ciencia? e) ¿La insuficiente presencia aún de mujeres y personas LGBTQI+ en las ciencias y la existencia de profesiones tradicionalmente femeninas y masculinas indican perpetuidad de la cultura patriarcal?

Y agregamos dos más f) ¿Quién es el sujeto que actualmente hace ciencia, quiénes y donde se ubican los sujetos llamados a consumirla g) ¿quiénes financian la ciencia que se desarrolla y con qué intereses? Y por último y no menos importante ¿A quién beneficia la ciencia que se desarrolla? Estas cuestiones propias de la epistemología feminista no tienen una

respuesta inmediata debido a su complejidad, sin embargo, sirven para provocar el pensamiento y recuperar aportes para la formación de profesores y formadores de Ciencias Naturales al cuestionar los contextos de descubrimiento, justificación, aplicación y transferencia de la ciencia (MAFFIA, 2012).

3.2.4.2 *La perspectiva de género, la HC y la Naturaleza de la Ciencia en la formación de profesores.*

Lemke (2001) en su ensayo sobre perspectivas socioculturales en Enseñanza de las Ciencias discute el artículo de la profesora Nancy Brickhouse titulado “*Embodying science: A feminist perspective on learning*” y menciona:

El feminismo y su prima menor, la Teoría Queer, se suman profundamente a las preocupaciones y perspectivas tradicionales de la teoría sociocultural: una preocupación por el hecho de que los seres humanos dan sentido a sus propios cuerpos biológica y culturalmente diferentes, una perspectiva del conocimiento que incluye los sentimientos corporales y culturalmente significativos, así como las percepciones y los conceptos, como elementos centrales de nuestro repertorio epistemológico, una relegitimación de la sexualidad como preocupación intelectual central y motivo humano en las relaciones interpersonales y el aprendizaje, una confrontación honesta con lo que significan las desigualdades estructurales de poder en una sociedad a nivel personal e individual, y un compromiso intelectual con la realidad del dolor y el sufrimiento humanos (LEMKE, 2001, p. 308, traducción propia³³).

La epistemología feminista dialoga con la perspectiva sociocultural de la ciencia, al cuestionar la objetividad, el desapego emocional y el método científico como única vía de construir conocimiento válido. Sin embargo, su principal aporte es traer nuevas preguntas, sobre temas que usualmente han sido poco abordados en la epistemología, por ejemplo: ¿cuál es el papel de los sesgos de género en la producción de conocimiento científico y las metodologías? (HEERDT; LOURDES BATISTA, 2011) abordan el cuestionamiento sobre las posibles relaciones entre la HC, la NdeC y el género femenino en la formación docente y analizan diferentes investigaciones en Educación en Ciencias y que tiene en cuenta la perspectiva de género que muestran cómo en la práctica se dan exclusiones que afectan principalmente a las personas identificadas con género femenino. Además, resaltan las potencialidades de la HC en

³³ A great deal we have yet to hear, spoken from women's location within our communities. Feminism and its distaff cousin, Queer Theory, add profoundly to the traditional concerns and perspectives of sociocultural theory: a concern for the fact that human beings make meaning with our own biologically and culturally different kinds of bodies, a perspective on knowing that includes bodily and culturally meaningful feelings as well as percepts and concepts as central to our epistemological repertoire, a relegitimation of sexuality as a core intellectual concern and human motive in interpersonal relations and learning, an honest confrontation with what structural inequities of power in a society mean at the personal and individual level, and an intellectual engagement with the reality of human pain and suffering.

sala de aula y la necesidad de apuntar cuestiones de género en la formación inicial y continua de profesores para neutralizar discursos dominantes tanto en relación con las ciencias como al género femenino, y que podría extenderse a todas las personas que son discriminadas por género, raza, clase, diversidad funcional, entre otras. El objetivo es brindar las mismas oportunidades de comprensión, acceso y desarrollo de conocimiento a todas las personas, atendiendo a la diferencia como un elemento constitutivo de la naturaleza y la humanidad.

Para finalizar, esta tesis busca aportar en la dirección de formación de profesores en cuestiones de género y los aportes de la HFSC en la EC.

3.2.3 De las relaciones centro-periferia a las redes de circulación y apropiación de la ciencia.

Como se ha mencionado anteriormente, la historia de la ciencia moderna está llena de científicos hombres europeos, blancos que están posicionados en el imaginario colectivo como genios y los centros de pensamiento asociados a ellos parecen lugares privilegiados para que la genialidad científica brote, reforzando el mito. Sin embargo, al indagar por la ciencia, los científicos y científicas en otras latitudes se utilizó la dicotomía centro-periferia y el *modelo de difusionista de la ciencia, que centraba todo el peso de la explicación en las metrópolis o en centros de poder científicos europeos* (CUETO, 1996; SALDAÑA, 2005; VESSURI, 1996 apud MATHARAN, 2016) generando una imagen distorsionada de la ciencia y su producción en contextos no hegemónicos, como es el caso particular de América Latina.

Sin embargo, las corrientes historiográficas desde los años 80 han venido llamando la atención sobre el carácter situado de la ciencia y sus prácticas, así como la importancia de la difusión y apropiación de la ciencia en diferentes latitudes, respondiendo a la visión de la ciencia como actividad científica, que también debe verse en un marco más amplio, con fuertes vínculos e implicaciones en lo social y político.

El modelo propuesto por Basalla en 1967 en su ensayo *The Spread of Western Science de 1967* (LAFUENTE *et al.*, 1993 apud MATHARAN, 2017) y que sirvió por algún tiempo para explicar la mundialización de la ciencia, no sin poca polémica, consiste en tres fases: *de contacto; ciencia colonial y ciencia independiente; que se basa en la noción de «difusión o mundialización» de la ciencia occidental desde un polo —Europa— hacia las sociedades no científicas que poco a poco van construyendo este tipo de cultura.* Por

supuesto, las principales críticas están en el eurocentrismo del modelo y la unidireccionalidad de la difusión.

Por otro lado, una perspectiva de la circulación de la ciencia, en la que el foco esté en los procesos de comunicación, transformación y apropiación, se presenta como una alternativa al modelo centro-periferia. Pohl Valero y González Silva (2009) mencionan:

Pensar y rastrear la ciencia desde la perspectiva de su circulación, entendida como un proceso que abarca tanto la comunicación como la apropiación, permite no sólo superar el viejo modelo de difusión y recepción pasiva de la ciencia, sino replantear conceptos historiográficos tradicionales, plantear nuevas preguntas y entrever otros procesos mediante los cuales se ha forjado la ciencia moderna (POHL VALERO; GONZÁLEZ SILVA, 2009, p. 8)

También, esta perspectiva podría poner el acento en la noción de actividad científica y traer elementos complementarios al considerarla “como una serie de prácticas situadas localmente, pero, a la vez, inmersas en sistemas mucho más amplios [...]” (POHL VALERO; GONZÁLEZ SILVA, 2009, p. 8), lo cual avanzaría hacia una comprensión de la interacción entre la ciencia local y global, pero que da un rol más activo a las llamadas periferias, pues la ciencia occidental se desarrolla a medida que se expande (MATHARAN, 2017). Así, la transmisión de conocimiento deja de ser un proceso pasivo y lineal de emisión- recepción desde el centro a la periferia, convirtiéndose en un proceso creativo, pues al eliminar la separación entre los contextos de descubrimiento y de justificación, aporte de la sociología de la ciencia, estos dos contextos coexisten y, por tanto, la producción y difusión del conocimiento ocurre simultáneamente. Por tanto, es posible prestar más atención: “a los modos prácticos de diseminación del conocimiento: interpretación y traducción de textos, intercambio epistolar, difusión manuscrita, comentarios, estrategias de publicación, medios de popularización y conformación de redes” (POHL VALERO; GONZÁLEZ SILVA, 2009, p. 28).

Por tanto, en esta tesis, este es un aspecto importante, pues resalta las relaciones entre Ciencia y Sociedad, así como la conformación de Estados-Nación en la que la Ciencia tuvo un importante papel.

3.3 Aportes de la Historia de la Óptica a la Enseñanza de las Ciencias y la Formación inicial de profesores

La luz, su naturaleza, interacciones con la materia y tecnologías asociadas han sido problemas que han impulsado importantes desarrollos en la ciencia. En principio, un interés presente en los trabajos de algunos filósofos de la Antigüedad, como Alhacen (GONZÁLEZ-CANO, 2015) y Kepler (TOSSATO, 2005), fue la comprensión de la visión, el funcionamiento

del ojo, el desarrollo de instrumentos ópticos y algunos fenómenos ópticos, abordados desde una perspectiva filosófica. Posteriormente, el tratamiento de los fenómenos ópticos desde una concepción mecanicista, tuvo en cuenta la triada previsión- experimentación- matematización (SILVA, 2016), en donde el ojo se asimiló a la cámara oscura (TOSSATO, 2007) y se optimizaron técnicas para la producción y corrección de lentes y espejos, así como la producción de instrumentos ópticos. En esa misma vía, la luz tuvo un importante papel simbólico y fue considerada como la metáfora por excelencia del conocimiento (PIMENTEL, 2015).

Con el desarrollo del electromagnetismo, nuevos fenómenos y comprensiones sobre la naturaleza y comportamiento de la luz se produjeron en el seno de la comunidad científica. De hecho, Barbero, Vallmitjana y Carreras (2015) mencionan que la revolución en la concepción de la luz fue uno de los legados más extraordinarios de la ciencia del siglo XX. El propio Albert Einstein, por ejemplo, en el libro “La Evolución de la Física” (EINSTEIN; INFELD, 1986) dedica un apartado a analizar el ocaso de la concepción mecanicista debido a los infructuosos y aparatosos esfuerzos para “salvar al éter”, así como algunos fenómenos explicados por las teorías corpuscular y ondulatoria en la óptica. En las palabras de Einstein e Infeld (1986, p. 89): “si queremos explicar mecánicamente los fenómenos ópticos debemos suponer que el éter existe por todas partes. No puede haber espacio absolutamente vacío si la luz se propaga solo a través de este medio”.

Como se evidencia entonces, la historia del desarrollo de la óptica es un campo fértil para explorar la forma en que la empresa científica y las teorías cambian, cómo se hace ciencia, o, mejor dicho, explorar la ciencia integral e indagar las relaciones entre diversos campos del saber. Por ejemplo, Casas (2015) menciona que todo lo que conocemos sobre el universo depende de la luz que recibimos. Al estudiar la historia del fondo de radiación de microondas, resalta la importancia de la luz en la Astronomía y en todo cuanto sabemos acerca del origen, composición, densidad y forma del Universo.

En el 2015 se celebró y promovió el Año Internacional de la Luz y Tecnologías basadas en la Luz, desde diferentes entidades científicas en el mundo, en el que se destacó las tecnologías desarrolladas y la importancia de la óptica en la sociedad. Esta fecha fue escogida por la confluencia de diversos aniversarios: mil años desde la aparición del Libro de Óptica escrito por Ibn al- Haytham, más conocido en Occidente como Alhazen; cien años de la teoría de la relatividad de Einstein; doscientos años de los trabajos de Augustín Fresnel y, por último, ciento cincuenta años de la contribución de James Clerk Maxwell al electromagnetismo y la

óptica. En la entrevista que dio la profesora e investigadora María Luisa Calvo (ÓLAFSSON, 2015), a propósito de esta conmemoración, resalta la importancia de los desarrollos actuales en óptica y los campos en los cuales se desarrollan trabajos que tienen un impacto social en diversas áreas. Así, ella menciona que la biofotónica y el desarrollo de nuevas fuentes láser, así como el desarrollo de tecnologías para el medioambiente están actualmente siendo explorados con resultados importantes en campos como la medicina y el medioambiente.

Para finalizar, este breve panorama de los desarrollos en óptica muestra la diversidad de conocimientos que son aplicados en diferentes campos de investigación, industria y en la vida cotidiana. Al modificar la noción sobre la luz, su naturaleza e interacciones con la materia, también se modifica la comprensión sobre el universo y todo lo contenido en él. En este sentido, se hace necesario cuestionar ¿Qué de todo esto es llevado al aula? En el siguiente apartado se retoman trabajos sobre la enseñanza de la Óptica, puntuando algunos problemas y posibilidades en diferentes niveles educativos.

3.4.1 Algunas investigaciones sobre enseñanza de la óptica en diferentes niveles educativos.

Los estudios en enseñanza de la óptica desde la Didáctica y la Enseñanza de las Ciencias han problematizado tanto las prácticas de enseñanza, aprendizaje y evaluación, como la relevancia de los contenidos que se llevan al aula. Por más de treinta años se han producido propuestas, enfoques y sugerencias para mejorar el aprendizaje de la óptica y la formación de profesores. Un muestra del gran volumen de investigaciones en óptica se puede ver en la revisión bibliográfica desarrollada por Ribeiro y Carneiro (2016) a 105 artículos publicados entre 1995 y 2015 solamente para cuestiones asociadas a la reflexión de la luz. A continuación, presentamos algunas de las investigaciones sobre enseñanza de la óptica en diferentes niveles educativos.

Por ejemplo, Perales Palacios (1987) enfatizó en la organización de los contenidos y los *conceptos básicos* en la enseñanza de la óptica geométrica, analizando libros de texto de diferentes niveles educativos proponiendo los siguientes conceptos a investigar: “*luz, rayo, reflexión, refracción, espejo, lente, prisma y dispersión*” (PERALES PALACIOS, 1987, p. 218). Por su parte, Solbes y García, (1993), al preguntarse por la enseñanza de la óptica en la secundaria y las concepciones de los estudiantes en este nivel educativo (estudiantes entre 12 y 18 años), plantean como hipótesis que esta enseñanza se caracteriza por

- a) No tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos e introducir, además, errores conceptuales. b) Dar más importancia a ciertas expresiones matemáticas (p. e., la

ecuación de la onda armónica plana) que, a la comprensión de los conceptos sobre la luz, sus interacciones con la materia y, en particular, a la visión de los objetos. c) No clarificar las relaciones entre los diversos modelos sobre la luz, sus límites, diferencias, etc. d) No tener en cuenta las múltiples aplicaciones de la óptica y sus implicaciones sociales (SOLBES; GARCÍA, 1993, p. 38).

Para comprobar estas hipótesis desarrollan cuestionarios a estudiantes, profesores y textos didácticos en donde llama la atención que *“los profesores no proponen la realización de experiencias, muestran escasamente las aplicaciones técnicas y hay una ausencia prácticamente total de las implicaciones sociales”* (SOLBES; GARCÍA, 1993, p.43). Con respecto a los textos universitarios, encuentran un tratamiento formal del movimiento ondulatorio, la mitad establece la relación entre luz y electromagnetismo, se aborda brevemente la absorción y dispersión de la luz y el 91% de los libros no relaciona absorción con visión de los colores, como tampoco mencionan la relación de fotones con la intensidad de la luz y la relación entre luz y *“la transición de electrones en niveles atómicos, moleculares, por frenado de cargas, etc.”* (SOLBES; GARCÍA, 1993, p. 41). En esa misma vía de analizar los libros de texto, el trabajo de Palacios Perales (1995) sobre textos didácticos, muestran anomalías en las propuestas de trabajos prácticos, así como un enfoque hacia la ejercitación y una experimentación sin posibilidad de innovación.

Los trabajos de Almeida (1996), así como los de Pesa y Cudmani (1993) resaltaron la importancia de prestar atención a las concepciones precientíficas sobre la luz y la visión que coexisten con conceptualizaciones de la Física. Estas últimas mencionan que:

Los temas relacionados con la naturaleza de la luz, los mecanismos de producción de sombras, la reflexión difusa y sus diferencias con la especular, en resumen, las concepciones científicas básicas, se dan por obvias, y se pasa directamente a la sistematización y matematización más compleja (PESA; CUDMANI, 1993, p.135)

Asimismo, muchos trabajos señalaron y usaron aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la enseñanza de la Óptica. En este sentido, trabajos como el de Beléndez; Pascual y Rosado (1989) señalo la importancia de enseñar sobre los modelos de Naturaleza de la luz. Esto es:

La enseñanza de la Óptica, y en general la introducción de los modelos sobre la naturaleza de la luz, es quizás uno de los apartados más descuidados del desarrollo curricular desde el nivel elemental hasta los primeros años de Universidad, a consecuencia, sobre todo, de la poca interconexión que existe entre las enseñanzas de los distintos cursos (BELÉNDEZ; PASCUAL; ROSADO, 1989, p. 273).

Posteriormente, las profesoras Pesa y Cudmani (1998) desarrollaron una investigación sobre las ideas de estudiantes de Ingenierías y Física sobre la visión en la que propusieron la construcción de mapas y la sistematización de sus ideas alternativas. Entre los resultados

presentados, resaltan que los estudiantes tienen dificultades para identificar el rol de una pantalla y el papel activo del ojo en la formación de imágenes. Además, aunque reconocen la triada observador-fuente-objeto, presentan dificultades en relacionar los conceptos “y no parecen comprender los procesos físicos (por ej. la reflexión difusa) y sicofísicos presentes (por ej. la percepción del color)” (PESA; CUDMANI, 1998, p. 25). En posteriores investigaciones, Bravo y Pesa (2005; 2016) y Bravo, Pesa y Pozo (2011) abordan cuestiones asociadas a la visión en estudiantes de secundaria y universitarios, así como la importancia del fenómeno de difracción en el cambio de paradigma entre el modelo corpuscular y el ondulatorio de la luz.

De este trabajo se resalta el análisis que hacen de libros universitarios de los que mencionan:

Si bien los textos analizados son claros en cuanto a las dimensiones del sistema experimental para delimitar el ámbito de la óptica geométrica y de la óptica ondulatoria, en general (a excepción de Hecht y Landsberg) no relacionan lo suficiente las condiciones de coherencia con las características de la fuente y las dimensiones del sistema experimental y no analizan el rol del ojo como sensor de los patrones de interferencia y/o difracción. Surge así la necesidad de la referencia permanente a las situaciones experimentales (BRAVO; PESA, 2016).

En el nivel universitario, las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la óptica también han sido examinadas. Por ejemplo, Colin y Viennot (2001) desarrollaron una investigación que mostraba las dificultades de los estudiantes a nivel universitario para resolver situaciones de óptica geométrica y ondulatoria y de conectar estos dos modelos. Para esto, se enfocan en situaciones de difracción e interferencia en lentes, prestando especial atención al significado de “rayo” que los estudiantes movilizan y algunos extractos de libros que podrían ser problemáticos para la comprensión del tema. Entre las dificultades que encuentran está la interpretación de las líneas en los diagramas utilizados en óptica. Para superar estas dificultades sugieren: “la noción de una “selección hacia atrás” de los caminos de la luz, [...] y establecer una relación entre el significado de las trayectorias de la luz, el significado de la iluminación de la pantalla y el significado de las fuentes” (COLIN; VIENNOT, 2001, p. 43).

El trabajo de los profesores Barros y Carvalho (1998, p. 83) enfatiza directamente en los aportes de la HFC, que mencionan podría servir “*de instrumento para auxiliar o professor a compreender as dificuldades dos estudantes e, por outro, promover uma reflexão sobre a própria natureza da Ciência*”. Un ejemplo que muestra estos aportes es el trabajo de los profesores Silva y Moura (2008) que muestran el potencial del uso de episodios históricos en la enseñanza de la óptica analizando el caso de la popularización de la óptica newtoniana. En esa misma vía, la investigación de Forato, Martins y Pietrocola (2012) en la que diseñaron e implementación un curso piloto llamado “El éter, la luz y la naturaleza de la ciencia” en la

enseñanza secundaria, con episodios históricos, textos originales y actividades pedagógicas. En ese contexto, detectaron algunas dificultades para llevar la historia de la ciencia al aula y propusieron algunas estrategias para superarlas, pues si bien los trabajos de los años noventa habían resaltado la importancia y bondades de la HFSC en la EC, su implementación en el aula aun es escasa. En este trabajo se resalta el papel de la historia de las ciencias para una formación crítica de los estudiantes y la elección de los tres episodios históricos abordando: a) la luz y la visión desde los antiguos griegos, b) el fenómeno del color y los trabajos de Newton sobre óptica, c) la sustitución de la teoría corpuscular de la luz por la teoría ondulatoria a principios del siglo, que buscaron criticar *una visión ingenua de la ciencia como un esfuerzo estrictamente racional y empírico-inductivo, desarrollado a través de un supuesto “método científico” único y universal* (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012, p. 658). Para finalizar, presentan una lista de parámetros para orientar la elección de estrategias y materiales por parte de los profesores, en los que se destacan:

- Definir el nivel de profundidad de ciertos aspectos epistemológicos y su posterior formulación discursiva incluye conocer nuevos contenidos y sus respectivos vocabularios.
- Advertir sobre el uso de fuentes primarias en los materiales didácticos para bachillerato (estudiantes entre 16 y 18 años)
- Abordar diacrónicamente los contenidos de la HC que son difíciles de entender en la actualidad (p. 677).

En la misma vía de usar textos originales y problematizar el trabajo de Newton, en Colombia, Granés y Caicedo (1997) desarrollaron una propuesta con estudiantes de postgrado analizando el trabajo de la óptica de Newton, desde la recontextualización del conocimiento científico y enfatizaron en que algunos “problemas que, a mediados del siglo XVII, eran objeto de debate y se constituyeron en el origen de la investigación que nos ocupa, hoy no se mencionan en los libros de texto” (p. 11). En esta perspectiva de recontextualización del conocimiento desde los postulados de Bernstein, el futuro profesor de ciencias se acerca a la historia para contar con elementos para llevar a cabo este proceso.

Por otro lado, propuestas de cómo enseñar óptica a estudiantes ciegos también tuvieron desarrollos importantes con los trabajos del profesor Eder Pires en Brasil, véase Camargo (2007; 2011), en la que se proponen diseños de materiales para trabajar la óptica desde el tacto.

Por último, en el año 2016, la revista *Alambique. Didáctica de las Ciencias experimentales*, dedicó el No 85 a la luz, en el marco de las celebraciones internacionales del año de la luz y sus tecnologías. En este número se encuentran artículos que abordan diferentes tópicos de la enseñanza de la luz. La investigación de Couso (2016) sobre el modelo de rayo de

luz es particularmente interesante para esta tesis, pues aborda la cuestión de la enseñanza de la óptica a través de modelos, en ese caso el modelo de luz como rayo, con intereses didácticos desde una postura de la enseñanza como práctica científica. En ese sentido afirman que este modelo tiene interés porque podría permitir profundizar en la práctica de la modelación y en el conocimiento epistémico de los estudiantes, “tanto respecto al rango de aplicación de un modelo (para qué fenómenos es suficiente y útil), como a la posibilidad y necesidad de explicar con modelos diferentes y alternativos ciertos fenómenos que ya no podemos explicar”(COUSO, 2016, p. 16). Así, desarrollan una unidad didáctica con algunas actividades, dirigidas a estudiantes de 1 de ESO (12 a 14 años), con foco en la modelización y que estudia el modelo de la luz necesario para explicar cómo podemos observar los astros y aportar en la comprensión del modelo Sol-Tierra, estableciendo relaciones entre la óptica y la astronomía. Esta presentación por modelos es llamativa en tanto se enfoca en la práctica científica escolar y los aspectos de la epistemología de la ciencia no aparecen como agregados a contenidos, por el contrario, se establece un acercamiento a la ciencia, con problemas que son pensables por los estudiantes.

Esta breve presentación de trabajos no pretende ser exhaustiva, por el contrario, lo que muestra es cómo la enseñanza de la óptica ha sido problematizada desde teorías sobre concepciones alternativas, Historia de la Ciencia, actividades experimentales y recursos, libros de texto, revisión de contenidos, entre otros. Así, se ha logrado construir una gran cantidad de conocimiento sobre cuáles son los problemas, estrategias, contenidos y prácticas para enseñar algunos conceptos de óptica. Sin embargo, al ser un campo tan prolífico, y con tantas conexiones con otras ramas del saber y la sociedad, aún queda mucho por investigar. Por ejemplo, a través de las relaciones entre óptica y astronomía, fisiología, psicología, biología, entre otros, como lo muestra los trabajos de Bernardes *et al.*, (2006), Couso (2016), Osuna, (2016), así como la comprensión de las tecnologías asociadas a la luz en nuestra cotidianidad (NACENTA TORRES; NACENTA MENDIVIL, 2016).

Una de las características de la mayoría de las investigaciones que se presentaron anteriormente es que tienen como foco los conceptos y contenidos de la óptica geométrica, y muchos de ellos son propuestas o revisiones que no necesariamente implican una puesta en escena en el aula de clase o que relaten la práctica de los profesores en el aula. La enseñanza de la Óptica física, así como la problematización de las tecnologías asociadas a la luz, presentes en nuestro día a día, aun requieren investigación, formación y práctica. Es probable, que las divisiones en los campos de conocimiento: Óptica, Electromagnetismo, Mecánica cuántica, no

permitan percibir la importancia que ha tenido los cambios en la forma de comprender y manipular la luz, por lo cual, algunas investigaciones en la enseñanza de la Física que problematizan la luz y sus tecnologías en la relatividad, Física cuántica, o electromagnetismo, podrían también contener aportes que no fueron mencionadas o contempladas en este apartado para los niveles de secundaria, media y básica. Por ejemplo, véase el trabajo de Silva y Errobidart (2015) sobre las investigaciones asociadas a la enseñanza del efecto fotoeléctrico en el marco de la enseñanza de tópicos de Física moderna y contemporánea en secundaria. Entre el 2000 y el 2014 encontraron cuarenta y un artículos referidos a esta temática en el ámbito brasilero e internacional y donde se distinguen tres propuestas o relatos de enseñanza del efecto fotoeléctrico mediados por HFC.

A continuación, se avanza en algunos trabajos que tuvieron como foco a los futuros profesores de ciencias, así como trabajos en la formación de profesores que involucran propuestas de la HFSC para la enseñanza de la óptica en la formación inicial y continua de profesores de ciencias.

3.4.2 Aportes de la Historia de la Óptica a la Formación de profesores de Física.

Cómo hemos detallado anteriormente, la óptica es uno de los campos más fértiles para las conexiones entre enseñanza de las ciencias e HFSC, por tanto, a continuación, revisamos algunas propuestas para la formación de profesores que han apuntado la importancia de incorporar elementos de la HFSC.

Una de las propuestas más citadas es la de Galili (2014) titulada “*Teaching Optics: A Historico-Philosophical Perspective*” en la que analiza la incorporación de la HFC en los recursos para enseñanza de la Óptica y presenta un marco del conocimiento cultural de la óptica. Inicia presentando un esquema en donde relaciona los desarrollos históricos en la óptica y su presentación en diferentes niveles educativos, desde la enseñanza básica hasta la universidad y afirma que: “Además, las tres partes de la óptica que se presentan suelen aparecer en entornos educativos aislados: (i) Óptica geométrica (la teoría de los rayos), (ii) Óptica física (la teoría de las ondas), y (iii) Óptica moderna (la teoría de los fotones)” (GALILI, 2014, p. 98, traducción propia³⁴).

³⁴ “Moreover, the three parts of optics which are presented usually appear in isolated educational settings: (i) Geometrical Optics (the theory of rays), (ii) Physical Optics (the theory of waves), and (iii) Modern Optics (the theory of photons)” (GALILI, 2014, p. 98)

La propuesta de *enseñanza de la óptica de forma cultural* enfatiza que la Física es en sí misma una cultura, por lo cual es posible que las teorías físicas fundamentales posean una estructura triádica denominada disciplina-cultura, compuesta por núcleo-cuerpo-periferia, que se contrapone a la estructura disciplinar regular de núcleo-cuerpo (GALILI, 2014, p. 105). Frente a esto menciona:

El núcleo incluye los fundamentos, el modelo paradigmático, los principios y los conceptos, mientras que el cuerpo está formado por diversas aplicaciones del núcleo: problemas resueltos, modelos de trabajo, fenómenos y experimentos explicados y aparatos desarrollados. La periferia es el área que incorpora los elementos que contradicen y desafían al núcleo, como los problemas/fenómenos que no pueden ser resueltos/explicados por un núcleo particular (GALILI, 2014, p. 105, traducción propia)³⁵.

Así, la organización de la enseñanza de la óptica se ejemplifica en dos esquemas que muestran el conocimiento óptico estructurado en forma de disciplina-cultura. Esta estructura se caracteriza por contemplar no solo el conocimiento válido y “exitoso”, sino por incluir en la periferia, los límites o “rompecabezas del modelo teórico sobre la luz”.

Si bien reconocemos la importancia de esta propuesta en la enseñanza de la óptica, es importante resaltar que se inscribe en una comprensión de la Física como una cultura de reglas (GALILI, 2014) que se distancia de comprensiones de:

la cultura de la ciencia como funcionamiento social (Latour 1987), de la “ciencia y cultura” que situaba los contenidos científicos (Física, Biología, Astronomía) en el desarrollo histórico de las matemáticas y la filosofía natural (por ejemplo, Fehl 1965), o de abordar los aspectos étnicos del conocimiento en la educación (por ejemplo, Aikenhead, 1997; Aikenhead y Jegede, 1999), y de considerar la relación de la ciencia y la sociedad (Bevilacqua et al. 2001) o el arte (por ejemplo, Galili y Zinn 2007) (GALILI, 2014, p. 104, traducción propia)³⁶.

En este enfoque la historia de la óptica parece aproblemática y no contempla la potencia de los aspectos socioculturales y los contextos en los que se desarrollan las teorías y experimentos, así como los problemas que están en el seno de esos desarrollos y la construcción de sentidos por parte de los sujetos que aprenden, es decir, la historia de la ciencia es un recurso

³⁵ The nucleus includes the fundamentals, the paradigmatic model, principles, and concepts, while the body is made up of various applications of the nucleus: solved problems, working models, explained phenomena and experiments, and developed apparatus. The periphery is the area incorporating the elements which contradict and challenge the nucleus, such as problems/phenomena which cannot be resolved/explained by a particular nucleus (GALILI, 2014, p. 105).

³⁶ [...] the fourth perspective, suggested by Tseitlin and Galili (2005), considers scientific knowledge to be a culture of rules (Lotman 2001). This perspective must be distinguished from the culture of science as social functioning (Latour 1987), from “science and culture” that placed scientific contents (physics, biology, astronomy) in the historical development of mathematics and natural philosophy (e.g., Fehl 1965), or from addressing ethnical aspects of knowledge in education (e.g., Aikenhead 1997; Aikenhead and Jegede 1999), and from considering the relationship of science and society (Bevilacqua et al. 2001) or art (e.g., Galili and Zinn 2007). Unlike all of these perspectives, Tseitlin and Galili consider the knowledge of physics itself as a culture (GALILI, 2014, p. 104)

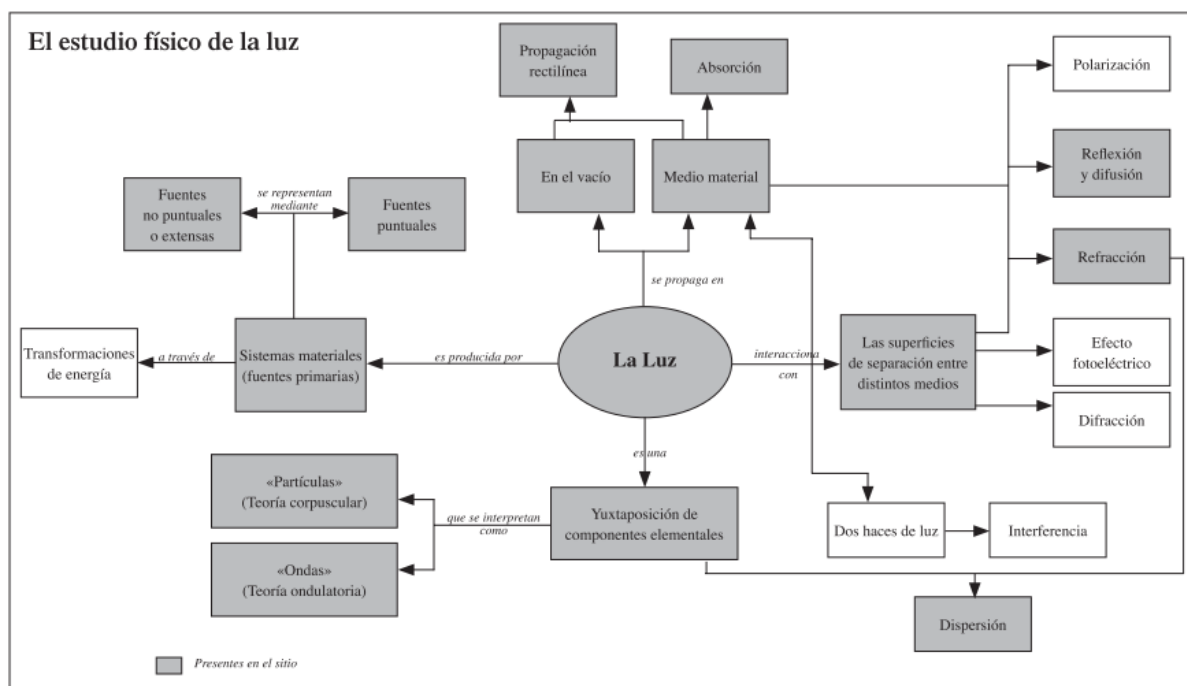
para justificar una forma de estructurar la óptica que, vista como cultura de reglas, se estructura en un modelo de núcleo-centro-periferia, en el que el centro es la teoría.

Por otro lado, la propuesta de Gagliardi, Giordano y Recchi, (2006) sobre un sitio web para apoyar la enseñanza de la Física en nivel primario y secundario, es dirigida a docentes de educación básica y secundaria. En esta página indican algunos experimentos y modelos interpretativos sobre la luz y la visión desde un enfoque fenomenológico “que involucra al que aprende en el juego recíproco entre la experiencia, el lenguaje, la representación y la interpretación, característico del proceso de construcción del conocimiento científico” (GUIDONI, 1975; BONELLI MAJORINO; GAGLIARDI; GIORDANO, 1999 apud GAGLIARDI; GIORDANO; RECCHI, 2006, p. 140). En ese sentido, la propuesta de los recursos contenidos en el sitio web tiene como fin:

Repensar la Física de los fenómenos luminosos para comprender los aspectos culturales y formativos, más allá de aprender los aspectos informativos nos ha llevado a proponer un acercamiento a los fenómenos de la óptica geométrica mediante el tratamiento paralelo de los dos puntos de vista de la «luz» y del «ojo». (GAGLIARDI; GIORDANO; RECCHI, 2006, p. 140)

Si bien se enfocan en aspectos de la óptica geométrica también señalan sus límites, por lo cual incluyen referencias a la óptica Física. De este trabajo se hace relevante el esquema que desarrollan para la enseñanza de “Luz y Visión” y que representa una red conceptual del panorama de la Física y la radiación.

Figura 23 – El esquema muestra los temas tratados en el sitio «Luz y visión» en una red conceptual que representa el panorama completo de la Física y la radiación



Fuente: Tomado de Gagliardi, Giordano y Recchi (2006).

Para finalizar, esta propuesta enfatiza en el modelo de rayo en términos de sus límites y potencialidades, distinguiendo entre “lo que se ve” y “lo que hace la luz”, con foco en la construcción de representaciones y modelos para explicar la formación de imágenes.

Desde una perspectiva sociocultural, García y Cerquera (2017) desarrollan un análisis histórico crítico sobre la refracción y la propagación de la luz, acercándose a los trabajos de Descartes, Newton y Huygens. Posteriormente analizan algunos textos de Física de educación secundaria y universitaria en Colombia que son usados como guías por los docentes y finalmente plantean algunas orientaciones dirigidas a los profesores para la enseñanza de la óptica. Un aspecto que resaltan es que en el caso de la óptica, la relación de la historia con su enseñanza “ha sido más desde una historia evolutiva de los conceptos, sin lograr articular la mirada activa del maestro en el uso de la historia de la ciencia en la enseñanza” (GARCÍA; CERQUERA, 2017, p. 146). Este foco en el profesor de ciencias es relevante para esta tesis, toda vez que el acercamiento a la historia de las ciencias, tanto de los formadores como de los futuros profesores de Ciencias, no debe ser un proceso pasivo, por el contrario, consideramos que los procesos de recontextualización hacen parte del desarrollo profesional en los que se ponen en juego diversos conocimientos, con fines educativos. En ese sentido, el proceso de

recontextualización también se resignifica y por tanto “se generan condiciones para que los maestros se involucren en la actividad de estructurar, organizar y construir explicaciones a los fenómenos” (GARCÍA, 2002 apud GARCÍA; CERQUERA, 2017, p. 146).

En el análisis histórico critico construyen cinco rejillas para analizar los textos y resaltan el papel activo del medio en la teoría de Huygens sobre la luz y encuentran “yuxtaposición de imágenes; limitaciones de la óptica geométrica; experiencias acomodadas al modelo teórico; óptica desvinculada de la astronomía; y leyes y teorías que guían la observación y la experimentación” (CERQUERA, 2006, p. 93). Los elementos orientadores se dirigen hacia maestros de Ciencias a partir del análisis particularmente del trabajo de Huygens. Por último, García y Cerquera (2017) mencionan que: “poder encontrar la pluralidad de construcciones dadas al fenómeno de propagación y refracción de la luz le otorga a la ciencia el carácter relativo y temporal en sus procedimientos, leyes, principios y teorías” (p. 160). Frente a esto, consideramos que más que plantear un relativismo en la ciencia, se podría enfocar en la búsqueda de modelos que evidencian sus límites y potencialidades, los problemas que respondieron y que se inscriben en contextos socioculturales e históricos. Esto es, se trata de que el formador de profesores configure una forma de intervención en el mundo a través de la recontextualización del conocimiento científico que implica la construcción de modelos para la formación de profesores.

En la misma línea de los estudios histórico epistemológicos y de resaltar la necesidad de concebir al profesor como un sujeto activo en la construcción y organización del conocimiento científico para la enseñanza, Tobón y Romero-Chacón (2017) exploran los fenómenos cromáticos y analizan una propuesta en formación inicial de profesores de Física en Colombia basada en estos estudios. Para esto, exploran los trabajos de Goethe sobre el color y mencionan:

Estas dos formas de organizar los fenómenos cromáticos son interesantes porque, para el caso de Newton, su mirada fundamenta la forma actual [...] como se conciben estos fenómenos. Para el caso de Goethe, su estilo de pensamiento obedece a una manera diferente de concebir la naturaleza, en la que el sujeto que observa el color es el protagonista (TOBÓN; ROMERO-CHACÓN, 2017)

De los análisis históricos y epistemológicos surgieron dos categorías: a) construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe y b) formas de ver y su historicidad, con las cuales desarrollaron e implementaron una propuesta para la formación de profesores de Física con foco en la experimentación. Para finalizar, consideran que los estudios históricos y epistemológicos son útiles para a) construir los fundamentos de un fenómeno, favorecer la reflexión pedagógica y c) que el maestro configure su estilo de pensamiento y su historicidad

TOBÓN; ROMERO-CHACÓN, 2017, p. 55). Estos aspectos, sin duda, están en concordancia con lo planteado en esta tesis, pues también se espera que el acercamiento de los formadores a la historia de las ciencias aporte en la construcción de las comprensiones y sentidos sobre los fenómenos, en la búsqueda de modelos científicos para la formación de profesores en los que se ponga en juego reflexiones pedagógicas, epistemológicas, didácticas y propias de la praxis, así como se configure su identidad como formador de profesores a través de su historicidad.

Asimismo, la investigación de Alvarado Guzmán (2017) que tuvo como objetivo analizar el papel de la experimentación en la construcción de discursos de futuros profesores de ciencias sobre la refracción de la luz. En ella se analizaron los discursos presentes en el texto del libro I de la Óptica de Newton y en textos producidos por los estudiantes en el desarrollo una asignatura de Didáctica de la Física en el que se estudió este texto original y la investigación se desarrolló bajo algunos postulados del análisis crítico del discurso (FAIRCLOUGH, 1995 apud ALVARADO-GUZMÁN; 2017). Desde los textos producidos por los estudiantes a lo largo de la asignatura, se encontró ¿la influencia de los elementos retóricos del texto original, que los lleva a reproducir la experimentación cualitativa desarrollada por Newton para “ver” lo que se “tenía” que ver. Sin embargo, esta postura acrítica es superada por parte de los estudiantes al develar la estructura retórica del texto, problematizar su experiencia con la luz y organizar su propia actividad experimental, poniéndose en el centro de la actividad cognoscitiva y discutiendo algunas cuestiones epistemológicas y sociológicas como la carga teórica de la observación, la universalidad del conocimiento científico, el papel de la experimentación en la construcción de explicaciones sobre la luz y el papel del contexto en la actividad científica. Por último, se resalta el potencial de los vínculos entre el análisis crítico del discurso y la HFSC desde una perspectiva sociocultural para el uso de textos originales con intenciones didácticas en la formación inicial de profesores de ciencias.

Por otro lado, Castiblanco y Nardi (2013) desarrollan una propuesta para la formación inicial de profesores de Física, en una asignatura de Didáctica de las Ciencias, con el fin de ejemplificar como llevar a la práctica “una posible interrelación de saberes disciplinares tanto de la historia como de la Física, con el objetivo de formar para la enseñanza”. Así, problematizan la naturaleza del concepto de luz que futuros profesores tienen, utilizando elementos de la Historia de la Óptica para la construcción de una línea de tiempo. Se resalta en este trabajo, el carácter metacognitivo e interdisciplinar de la Historia de las Ciencias y su uso en la Didáctica de las Ciencias.

Frente a esto ellos mencionan:

Al observar y comparar las respuestas de los licenciandos durante el desarrollo del curso, fuimos viendo cómo ellos iban profundizando más en el análisis crítico de los temas propuestos. Por ejemplo, al comienzo hablaban de la historia como un recurso para “cautivar” a los alumnos; sin embargo, vimos que esta concepción fue cambiando paulatinamente y fueron expresando, al final, que la historia y la filosofía verdaderamente les ayudan en la mayor comprensión de lo que enseñan y les permiten dar tratamientos diferentes de los contenidos de la Física para planear nuevas estrategias de enseñanza (CASTIBLANCO, NARDI, 2013, p. 59).

Por último, un aspecto que resaltamos es la producción de investigaciones que tienen como foco otros fenómenos asociados a la luz y que buscan evidenciar la interdisciplinariedad en el abordaje de problemas de la luz. Por ejemplo, Logiurato *et al.* (2021) se enfocan en la polarización de la luz y sus propiedades, estableciendo vínculos con el arte, la biología y la química. Para esto presentan algunos casos de la historia de las ciencias y diseñan un laboratorio que consta de diez sesiones. Al finalizar, sugieren algunas acciones que pueden desarrollar los docentes de secundaria o primeros cursos universitarios. Se resalta de este trabajo el foco en las aplicaciones tecnológicas de la polarización, en sus palabras “La polarización de la luz tiene diferentes aplicaciones y el estudio de este tema se presta muy bien a un enfoque de enseñanza interdisciplinar, desde la biología hasta la ciencia de los materiales”(LOGIURATO *et al.*, 2021, p. 1535). Si bien el uso de la historia es anecdótico y la experimentación no es pensada más allá del potencial motivador, consideramos que es interesante explorar el fenómeno de polarización.

Otra investigación que tuvo como interés la construcción de un espectrómetro de bajo costo, fue desarrollada por Catelli, Giovannini y Oliveira (2017) y muestra el potencial del estudio y construcción de instrumentos ópticos. Los estudiantes de un curso de licenciatura desarrollaron el espectrómetro y construyeron una escala para las longitudes de onda, experimentando con diversas fuentes de luz. Los autores destacan el potencial de este tipo de trabajos, esto es: “*O valor didático do espectrômetro aqui proposto inclui a possibilidade de medição, mas o que pode empolgar de fato alguns estudantes é a possibilidade praticamente ilimitada de exploração dos espectros das mais diversas fontes de luz*” (CATELLI; GIOVANNINI; OLIVEIRA, 2017, p. 968).

Para finalizar, las investigaciones anteriormente presentadas no contienen elementos explícitos de la enseñanza de las tecnologías asociadas a la luz. Esto está en consonancia con el problema demarcado sobre la naturaleza de la tecnología. Así, se espera poder avanzar en una propuesta que procure comprensiones sobre la tecnología y su impacto en el desarrollo de la óptica. Las tecnologías asociadas a la luz ofrecen una oportunidad para reflexionar sobre las relaciones complejas entre Ciencia y tecnología, levantando el velo del determinismo tecnológico en la educación científica y la formación de profesores.

4. EL DISCURSO DE LOS FORMADORES DE PROFESORES DE FÍSICA: POSIBLES RELACIONES ENTRE LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y EL ANÁLISIS DEL DISCURSO

Los estudios sobre los discursos de los profesores en la Enseñanza de las Ciencias Naturales se han constituido en una forma de acercarse a sus concepciones, creencias y prácticas educativas, en la búsqueda de comprender los factores que configuran la comunicación y los sentidos que se construyen en el aula de Ciencias.

En este apartado se presenta un acercamiento a los fundamentos del Análisis del Discurso, en adelante AD, desde los trabajos de la lingüista brasileira Eni Orlandi (1992, 2006, 2012). Esta aproximación, lejos de ser exhaustiva, lo que busca es recoger los principales conceptos que constituyen el dispositivo analítico para desarrollar los análisis del discurso de los formadores, que se presentan en este capítulo, y los análisis de los discursos de los textos originales que se presentan en el siguiente apartado titulado “Caleidoscopio Didáctico para Formadores de Profesores de Ciencias”. Así, se retoman los desarrollos y usos del AD en la investigación en la Enseñanza de las Ciencias con los trabajos de Almeida y Nardi (2013), Nardi (2007), Coelho y Almeida (2017), Rodrigues Moraes y Almeida (2019) y Almeida (2012). Con esto, se plantean algunos puentes entre el Análisis del Discurso y la Historia de las Ciencias para la EC desde una perspectiva sociopolítica y sociocultural, con el fin de llevar a cabo procesos de recontextualización de saberes que involucren textos de primera y segunda fuentes.

Por último, se resalta que la presente investigación se encuentra debidamente basada en las normativas legales del Comité de ética (CEP), cuyo número de aprobación por la plataforma Brasil es: 5.051.433

4.1 Algunos elementos del Análisis del Discurso (AD)

El discurso, lejos de su asociación con una alocución, es un objeto de estudio construido interdisciplinariamente en el que se problematiza la relación de los sujetos, la historia y la ideología. En ese sentido, el discurso es comprendido como una práctica social en la que se construyen sentidos. Orlandi al respecto menciona: “El discurso es la palabra en movimiento, práctica de lenguaje: con el estudio del discurso, se observa al hombre hablando” (ORLANDI, 2006, p. 15, traducción propia) y “el discurso es efecto de sentido entre locutores” (ORLANDI, 2006. p. 20)

Por tanto, el AD, como campo de investigación tiene como objeto de estudio **el discurso**, se preocupa por los sujetos y los mecanismos de funcionamiento del discurso, esto

es, cuando hablamos y escuchamos a otro (s) existen condiciones que determinan los discursos que se movilizan y los sentidos que construimos en dicha interacción. Por tanto, el AD se ocupa de: “¿Cómo un sujeto, en determinadas condiciones, se manifiesta?, y ¿en otras condiciones, se manifestaría de la misma manera? ¿Qué determina lo que se quiere decir en una situación particular? ¿Un sujeto se expresa de la misma forma frente a sujetos diferentes?” (ORLANDI, 2006, p.40, traducción propia). Es decir, el enfoque está en cómo los sentidos son administrados

Considerando lo anterior, el AD conceptualiza la lengua como una condición de posibilidad del discurso, y el lenguaje como no neutro ni transparente. Por tanto, para construir sentidos se requiere algo más que la comprensión del signo, se requiere reconocer los sujetos que hablan y sus posiciones en la historia.

Otra de las características que el AD tiene como campo de investigación es el cuestionamiento por la ideología que materializa el lenguaje, se manifiesta en la lengua y atraviesa los discursos (ORLANDI, 2006). Frente a esto Pêcheux (1996) reformula el concepto de ideología presente en la definición de aparatos ideológicos del estado de Althusser (1974) y menciona: “[...] *as ideologias não se compõem de 'ideias', más de práticas* (OLIVEIRA, 2020, p. 41)” y esto se constituye en una idea fundamental para comprender la tríada sujeto-ideología-historia, pues el sujeto en este caso no está dado, esto es, no es un sujeto prefabricado del que emanan ideologías, sino que es en sus prácticas sociales, con coordenadas socio históricas particulares, que las ideologías configuran el sujeto. Esto es “La constitución del sujeto se da en la relación entre el inconsciente y la ideología. Y el sujeto es elevado a una categoría de constitución de la ideología, pues no hay ideología sin sujeto” (ORLANDI, 2001, p. 54 apud OLIVEIRA; MARTINS; SILVA, 2020, p. 47, traducción propia). Alejándose de la comprensión marxista de ideología, lo que Pêcheux propone es una relación directa entre el lenguaje y la ideología, pues esta última actúa como un “*mecanismo imaginario que se relaciona directamente con la construcción de sentidos*” (OLIVEIRA; MARTINS; SILVA, 2020, p. 47) y que atraviesa las condiciones de existencia de los sujetos y por tanto sus producciones discursivas.

La ideología, por tanto, es la condición para la constitución del sujeto y los sentidos y por tanto, el individuo es interpelado en sujeto por la ideología y esto es necesario para que se produzca su decir. Así, la ideología no es ocultamiento sino función de la relación necesaria entre lenguaje y mundo. Lenguaje y mundo se reflejan en el sentido de la refracción, del efecto imaginario de uno sobre otro. El sentido es así una relación determinada del sujeto —afectado

por la lengua— con la historia y es el gesto de interpretación que realiza esa relación del sujeto con la lengua, con la historia, con los sentidos.

4.1.1 Las condiciones de producción de los discursos.

Uno de los elementos más importantes a la hora de analizar los discursos desde la perspectiva del AD son las condiciones de producción. Desde el giro lingüístico, se reconoce que tanto el contexto como los sujetos determinan los sentidos que se movilizan y que estos sentidos no están contenidos en las palabras o símbolos. Así, en diferentes contextos, un mismo símbolo puede significar diferente para sujetos diferentes dependiendo de su lugar como locutor en la interacción. Frente a esto, Orlandi (2006) define las condiciones de producción como:

Fundamentalmente, ellas comprenden a los sujetos y la situación. También la memoria forma parte de la producción de discurso. La forma en que la memoria “acciona”, coloca en funcionamiento las condiciones de producción, es fundamental. [...] Podemos considerar las condiciones de producción en sentido estricto y tenemos las circunstancias de enunciación: el contexto inmediato. Y si las consideramos en un sentido amplio, las condiciones de producción incluyen el contexto sociohistórico, ideológico. (ORLANDI, 2006, p. 11)

De acuerdo con lo anterior, la memoria es un elemento que activa las condiciones de producción y hace posible la inscripción del sujeto en una red de sentidos. Esto es, “La memoria es el espacio imaginario para esas redes de sentidos, los cuales son administrados por medio de relaciones de sentidos” (ORLANDI, 2006a apud OLIVEIRA; MARTINS; SILVA, 2020, p. 42). El sujeto dice, piensa que sabe lo que dice, pero no tiene acceso o control sobre el modo en que los sentidos se constituyen en él. Por eso es inútil, desde el punto de vista discursivo, preguntar al sujeto lo que él quiso decir cuando dijo “x” (ilusión de la entrevista in loco), esto es, “lo que él sabe no es suficiente para que comprendamos que efectos de sentidos están haciéndose” (ORLANDI, 2006, p. 19).

4.1.2 Interdiscursividad e intertextualidad.

En el AD es posible establecer diferentes objetos de estudio, por ejemplo, las formaciones imaginarias, la interdiscursividad, los mecanismos de anticipación, los sentidos y efectos de sentido, entre otros. Así, al hablar nos afiliamos a redes de sentidos, más no aprendemos como hacerlo, siendo sujetos a la ideología y al inconsciente. Orlandi, (2006) define el interdiscurso como todo el conjunto de formulaciones hechas y ya olvidadas que determinan lo que decimos. Así, existe una relación entre la memoria y el interdiscurso y se diferencia del intertexto pues:

Tanto el interdiscurso como el intertexto movilizan lo que llamamos relaciones de sentido... sin embargo, el interdiscurso es del orden del saber discursivo, memoria

afectada por el olvido, en el transcurso del decir, mientras que el intertexto se restringe a la relación de un texto con otros textos. En esa relación, la intertextual, el olvido no es estructurante, como lo es para el interdiscurso (ORLANDI, 2006, p. 13).

Las relaciones de sentido surgen de las relaciones entre los discursos, esto es, no hay un discurso que no se relacione con otros, por lo cual un discurso apunta siempre a otro ya “dicho” y a uno que se “dirá” o que se podría “decir”. Estas relaciones de sentido que se evidencian a través de la interdiscursividad y particularmente de la paráfrasis y polisemia, son el foco de interpretación de los discursos de los formadores. Así mismo, los sentidos, porque somos afectados por la ideología, dependen de nuestra historia y del acaso, del juego de la lengua y del equívoco, lo que constituye nuestra relación con ellos. Para esta investigación consideramos que la tarea como analistas es construir escuchas de los sentidos que emergen en el diálogo entre los formadores, es decir, esas formaciones discursivas que no se aprenden, generan efectos de sentidos y se concretan en las propuestas de formación. Reconocemos que no es posible pensar cada una de estas nociones por separado, por tanto, a continuación, se presenta una síntesis de los principales conceptos del AD.

4.1.3 La paráfrasis y polisemia en las relaciones de sentido de los discursos.

Continuando con las condiciones de producción y siempre situando los discursos en contextos donde se producen sentidos, dependiendo del lugar social de los participantes, avanzamos hacia la caracterización de los procesos parafrásticos y polisémicos.

Estos dos procesos están presentes en la producción de los discursos y hacen referencia a lo mismo y a lo distinto como características fundamentales del lenguaje. Orlandi (1992) define estos dos procesos de la siguiente manera:

El proceso parafrástico es el que permite la producción del sentido mismo bajo formas varias (matriz del lenguaje). El proceso polisémico es el responsable del hecho de que son siempre diferentes sentidos posibles múltiples (fuente del lenguaje). Esta tensión entre lo idéntico y lo diferente (ORLANDI, 1992, p. 37).

Estos dos procesos que corresponden a la paráfrasis y la polisemia muestran una concepción del lenguaje como algo siempre en movimiento, inacabado y que depende de los contextos y los sujetos que interactúan a través de la lengua. Este énfasis en la dinámica del lenguaje se convierte en una marca de la filiación de Eni Orlandi al AD, pues en sus propias palabras: *la relación contradictoria entre la paráfrasis y la polisemia como eje que estructura el funcionamiento del lenguaje. Ahí está puesta la relación entre lo mismo y lo diferente, entre la productividad y la creatividad en el lenguaje* (ORLANDI, 1998, p. 14). A continuación, se presentan algunos conceptos del AD a modo de resumen.

Cuadro 11 – Algunos conceptos del Análisis del Discurso

El análisis del Discurso En el procedimiento de análisis debemos procurar remitir los textos al discurso y esclarecer las relaciones de estos con las formaciones discursivas, pensando también en las relaciones de estas con la ideología.			Objeto discursivo: El objeto discursivo no es dado, surge después del trabajo de la analista.	El corpus: Se procura la lectura del material en bruto, visando obtener el objeto discursivo	Dispositivo analítico de interpretación Es el dispositivo teórico individualizado, por el analista en un análisis específico.
Discurso Efecto de sentidos entre sujetos. No es una relación lineal entre el hablante y el oyente	Condiciones de producción: En sentido estricto serían las circunstancias de enunciación, es el contexto inmediato En sentido amplio, las condiciones de producción incluyen el contexto socio histórico e ideológico.	Sujeto: No se refiere a un sujeto físico sino a la forma en que el sujeto es proyectado en el discurso	Formaciones imaginarias: Imagen que el sujeto hace de sí mismo, imagen que él hace de su interlocutor, imagen que él hace de lo que se está discutiendo.	Anticipación: Capacidad que todo locutor tiene de colocarse en la posición del interlocutor, anticipando la respuesta.	Formación ideológica: El trabajo de la ideología es colocar al hombre sobre una relación imaginaria con sus condiciones materiales de existencia.
		Situación Sentido amplio: Contexto histórico-social más amplio vinculado a lo ideológico Sentido estricto: El aquí, el momento del decir, circunstancia inmediata		Relaciones de fuerza: El lugar social desde el que hablamos marca el discurso con la fuerza de la locución con que ese lugar Relaciones de sentido: Lo que decimos tiene relación con otros ya “dichos” representa	
		Memoria discursiva: La memoria discursiva se trata del interdiscurso y está relacionada con las condiciones de producción. El decir se constituye a partir de un preconstruido, o ya dicho	Interdiscurso Se entiende como aquello que “habla” antes, en otro lugar, independiente. Consiste en formulaciones hechas y olvidadas que determinan lo que decimos	Paráfrasis Representa el retorno a los mismos espacios del decir. Se producen diferentes formulaciones. Polisemia En la polisemia lo que tenemos es desplazamiento, ruptura de procesos de significación. Ella juega con el equívoco	Las formaciones discursivas pueden ser vistas como configuraciones específicas de los discursos en sus relaciones

Fuente: Tomado, traducido y modificado de Oliveira (2020, p. 80).

Por otro lado, Orlandi (1992) establece una tipología de discursos que busca explorar el funcionamiento de tipos de discurso de acuerdo con dos criterios 1) la interacción (irreversibilidad, el cambio de papeles o de estatus entre los interlocutores) 2) la relación entre polisemia y paráfrasis, esto es, la posibilidad, o no, de múltiples sentidos. *Sin embargo, no existen discursos puros, pues los discursos “tienden a” y por tanto es posible clasificarlos. A continuación, en el Cuadro 11 se describen las características de esta tipología de discursos.*

Cuadro 12– Tipología de discursos

TIPO DE DISCURSO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
AUTORITARIO	Tiende a la paráfrasis (lo idéntico) y en que procura contener la reversibilidad (hay un solo agente: la reversibilidad tiende a cero), en que la polisemia es contenida (se procura imponer un solo sentido) y en que el objeto del discurso (su referente) queda dominado por el propio decir (el objeto prácticamente desaparece)	Discurso pedagógico. Poco lugar a la polisemia, pues se pretende establecer un solo sentido compartido.
POLÉMICO	Presenta un equilibrio tenso entre polisemia y paráfrasis, en que la reversibilidad se da bajo condiciones, es disputada por los interlocutores, y en que el objeto del discurso no está oscurecido por el decir, pero está regido por la disputa (perspectivas particularizantes) entre los interlocutores, habiendo así la posibilidad de más de un sentido: la polisemia está controlada.	Discurso crítico.
LÚDICO	Es aquel que tiende a la total polisemia, en que la reversibilidad es total y en que el objeto del discurso se mantiene como tal en el discurso. La polisemia es abierta, la exageración del discurso autoritario es el orden en el sentido militar, la del polémico es la injuria y la del lúdico es el non sense.	Discurso poético

Fuente: Adaptado de Orlandi (1992, p. 42).

Adelantándonos a que los términos usados en la tipología sugerida por Orlandi remeten a diferentes sentidos, particularmente el autoritario, es necesario precisar que lo lúdico y lo autoritario tienen un sentido que como describe (BRASIL, 2013):

Segundo Orlandi (2007), o fator autoritário deve-se à injunção à paráfrase e não a um caráter moralista na interlocução. Torna-se necessário inscrever-se no repetível para se filiar e promover uma formulação já significada, onde o sujeito se identifica, pois sem a repetição não há sentido, muito menos interpretação (BRASIL, 2013, p.180).

Almeida (2012) utilizando esta clasificación, estudia la relación entre el discurso pedagógico practicado en la enseñanza básica y en programas de formación, con respecto a la formación de profesores de Ciencias. En ese sentido sugiere que es necesario generar condiciones de producción de discursos polémicos, que contrarresten las prácticas de discursos autoritarios, que podrían constituir la memoria discursiva del futuro docente.

4.2 Explicitando desde donde se interpreta el discurso: dispositivo de análisis e interpretación

Pensar los problemas de la formación de profesores de Ciencias relacionados con la práctica discursiva nos lleva por caminos que evidencian las formas como se concibe la educación, el sujeto que se educa, el conocimiento y sus relaciones e impactos en la sociedad. Estas concepciones que, como se ha mencionado en los capítulos anteriores, son movilizadas por los formadores de profesores de Ciencias en sus prácticas y discursos en el aula de clase,

tienen un papel destacado en los sentidos que configuran los futuros profesores de Ciencias y también se relacionan estrechamente con sentidos que se movilizan en las instituciones educativas y los contextos socioculturales amplios con políticas, tradiciones y tensiones. Así, lejos de una mirada causalista y simplista, lo que se evidencia es la complejidad de los entramados de sentidos que se movilizan en la formación de profesores de Ciencias y en los que los formadores de profesores también participan.

Por estas razones, esta investigación retoma elementos de los estudios del discurso pautados principalmente por Eni Orlandi (2004) en la línea del análisis del discurso francés, y procura la comprensión de los discursos movilizados por los formadores de profesores sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores.

La elección del referencial teórico- metodológico del AD en la línea francesa³⁷, particularmente los trabajos de Pêcheux (1997) y Eni Orlandi (2004), se da por la búsqueda de comprender el sujeto que se constituye en los discursos de los formadores desde la comprensión por las relaciones sociales de dominación y transformación que se dan mediante procesos discursivos (SOUZA, 2014). Esto es relevante, porque, como se mencionó anteriormente, la identidad como formadores de profesores de Ciencias es una construcción en la que una gran variedad de factores contribuye y por lo cual se hace necesario repensar la relación entre identidad y praxis.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se presentan algunos acercamientos entre el AD y la HC en la EC.

4.2.1 *Recontextualización de saberes usando Análisis del Discurso.*

En los últimos años y cada vez con más fuerza, las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias señalan los problemas en la práctica de los profesores y la necesidad de alejarse de una racionalidad técnica avanzando a una racionalidad crítica en la formación inicial y continua de profesores de Ciencias Naturales. Esto requiere, por un lado, identificar (aunque ha sido ampliamente estudiado) cuales son los supuestos que componen la racionalidad técnica y, por otro lado, implementar transformaciones y avanzar hacia comprensiones de la relación entre práctica y teoría no jerárquicas, prestando atención a la complejidad de las relaciones entre instituciones, sujetos, marcos teóricos, prácticas, entre otros.

³⁷ Principalmente se distinguen dos escuelas de análisis: la francesa y la anglosajona. Para profundizar en estas clasificaciones revisar (URRA; MUÑOZ; PEÑA, 2013)

En ese sentido, algunas investigaciones en HFSC en la EC también se han unido a esta problematización, encontrando, por un lado, que, si bien existe un reconocimiento amplio del importante papel de la HFSC y la enseñanza de NdeC, su implementación y/o uso en el aula es reducido (MARTINS, 2007), aunque existe una importante producción de propuestas en este sentido. Es posible que esta dificultad está asociada a las concepciones que sobre HFSC construyen los profesores en su formación inicial y continua, que, desde modelos de formación basados en la racionalidad técnica, yuxtaponen saberes disciplinares y saberes pedagógicos, saturando de más contenidos teóricos los programas de formación y generando una sensación de *“no sé lo suficiente para enseñar”* en el futuro profesor de Ciencias. Ayala (1992), estudiando la propuesta del Instituto de Didáctica de la Física de la Universidad de Karlsruhe desarrollada en los años 80 para la reestructuración de contenidos de la enseñanza de la Física, menciona:

La realización de un proyecto de este corte involucra no solo la superación de las dos ideas que Hilbron menciona como los obstáculos que impiden hacer nuevas selecciones y estructuraciones de los contenidos objeto de enseñanza, sino también la superación de otra, muy arraigada en la comunidad de maestros de Física y de Ciencias en general: no afectar ni permitir que los estudiantes afecten el contenido científico que se enseña. La separación del producto de la actividad científica lleva necesariamente a la “cosificación” de los contenidos científicos (AYALA, 1992, p. 4).

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible cuestionarse sobre los sujetos que desarrollan las selecciones y estructuraciones de los contenidos objeto de enseñanza y también ¿Por qué en la comunidad de maestros existe la idea de que los estudiantes no afecten el contenido científico? Para comprender la raíz de estas ideas en las que, desde un punto de vista sociológico, las instituciones como la familia, la escuela, la Ciencia, la Universidad, entre otras, son vistas como aparatos ideológicos del Estado, también es posible avanzar en la puesta en marcha de propuestas que den espacio a la creación, al movimiento, a lo inacabado en el discurso y la sociedad. En ese sentido, el término recontextualización de saberes, retomado por Granés y Caicedo (1997) de Bernstein (1997), es definido como:

Recontextualizar quiere decir situar, insertar, articular un conocimiento, de manera significativa, en un nuevo contexto. Este cambio de localización implica procesos regulados de selección, de jerarquización y de transformación de los conocimientos. Además, en el proceso de recontextualización, la red de relaciones conceptuales y prácticas en la cual se inserta el conocimiento cambia con relación al cuerpo de saberes en el contexto original de la producción. Los procesos de recontextualización son siempre complejos ~ multifacéticos. Implican la construcción de un nuevo discurso, con finalidades, funciones y estructura propias, que deliberadamente se aleja del discurso original, aunque lo toma como base. (GRANÉS; CAICEDO, 1997, p. 3, subrayado propio).

De lo anterior se evidencia que en la recontextualización el discurso es un elemento fundamental. Así como no hay discurso sin ideología y el sujeto es resultando de la interpelación del individuo por la ideología (ORLANDI, 2006), entonces se hace evidente que los formadores y profesores de Ciencias movilizan, transforman y se inscriben en redes de sentido que no son fijas. Por tanto, ellos son los actores principales en la recontextualización de saberes en la educación, pero no como “mediadores entre culturas” sino como productores de conocimientos y discursos para la educación, es decir, sujetos de conocimiento que movilizan en su discurso pedagógico ideologías. En esa misma vía Granés y Caicedo (1997) mencionan que:

Entender la educación como creación permanente de sentido a través de los procesos de recontextualización puede transformar la conciencia que posee el educador sobre su propia práctica. Esta deja de ser entendida como una actividad de simple reproducción para ser pensada como un proceso de enriquecimiento permanente en la interpretación y en el significado de los conocimientos (GRANÉS; CAICEDO, 1997, p. 2).

Sharma y Anderson (2009) también al retomar el termino de recontextualización de Bernstein en su artículo “Recontextualization of Science from Lab to School: Implications for Science Literacy” resaltan la importancia de los profesores en este proceso y mencionan:

La recontextualización implica básicamente reconfigurar y reordenar el conocimiento científico existente para adaptarlo a una realidad discursiva diferente. Así, el conocimiento científico desarrollado en los laboratorios tiene que ser remodelado para que se ajuste a las diferentes relaciones de espacio, tiempo y poder que existen dentro de los límites de la escuela. El papel de los profesores en este proceso es crucial. De hecho, Christie (1998) califica a los profesores como los agentes que instancian la recontextualización de la Ciencia para sus alumnos (SHARMA; ANDERSON, 2009, p. 1261-1262).

Así, al revisitar este concepto en esta tesis, lo que se busca es poner el foco en la praxis de los formadores y profesores de Ciencias, en donde la recontextualización de saberes científicos, como actividad nuclear de su práctica, contribuye a una formación científica crítica y socialmente relevante. En esta vía, Ayala (1997) considera que la formación debe “*además de darle al maestro elementos válidos para la recontextualización de los saberes de la Física, generar en él una actitud de continua indagación sobre los procesos del conocimiento en la Física*”. Esto es, una identidad como sujeto de conocimiento para la transformación social.

Por tanto, avanzar en modelos de formación de formadores de profesores de Ciencias que propendan por una racionalidad crítica y dialógica, en el que se considere a los profesores como un sujeto de conocimiento y por tanto un aprendiz constante, es fundamental.

Ahora, ¿Cuáles podrían ser los aportes de la HFSC en la construcción y desarrollo de un modelo de formación de formadores de profesores de Ciencias desde una racionalidad

crítica? García (2011) menciona que no se trata de encontrar en la Historia los desarrollos o cambios más importantes de las teorías científicas, sino de “centrar la atención en la actividad científica misma, en elaborar, a partir del análisis de los escritos originales, una recontextualización y organización de los fenómenos de acuerdo con los intereses y necesidades por parte de quién hace uso de la historia” (p. 89). En este sentido, al centrar la atención en la actividad científica, los productos de la Ciencia dejan de ser el centro de la enseñanza y es posible considerar la complejidad de esta actividad. Esto implica que el profesor de Ciencias, conoce la Ciencia, como menciona Ayala (1992), desde:

1) los problemas que han posibilitado la construcción de fenómenos, la formación y el desarrollo de los conceptos de la Física y su sistematización en teorías; las condiciones en que tales problemas fueron planteados, en especial, su pertinencia en el momento histórico en que fueron formulados. 2) La capacidad de caracterizar los procesos de diferenciación conceptual que se desarrollan en la construcción de nuevos fenómenos, en la redefinición y reconceptualización de una problemática, y en la constitución de nuevos objetos disciplinares y métodos y técnicas para abordarlos. 3) vivenciar procesos de construcción de fenómenos y de conceptos y de elaboración de explicaciones. 4) conocer los procesos a través de los cuales se difunden y legitiman las ideas y acciones de la comunidad de los físicos en los contextos históricos particulares, condición necesaria para que la sociedad provea los recursos necesarios para el desarrollo de la disciplina (AYALA, 1992, p. 7).

Por tanto, la HFSC en la EC puede traer recursos para que los formadores y futuros profesores de Ciencias desarrollen procesos metacognitivos y de recontextualización de saberes teniendo en cuenta una perspectiva de Ciencia integral. A continuación, se ampliará la relación entre los textos originales o de primera fuente y la recontextualización de saberes, trayendo elementos del Análisis del Discurso en la Enseñanza de las Ciencias propuesto por Almeida y Silva (2020).

4.2.1.1 Los textos originales desde el análisis del Discurso.

Los textos originales o de primera fuente son entendidos como aquellos que son producidos en un contexto y no han sufrido procesos de recontextualización en otros contextos o los textos originales entendemos los escritos, las obras y los tratados de los pensadores que han gestado el conocimiento que reconocemos como científico a lo largo de la historia (SÁNCHEZ; MANRIQUE; OSORIO, 2019, p. 34). Así, un artículo, libro o publicación en una revista científica, aún está dentro del contexto científico y por tanto es una fuente original.

En la perspectiva sociocultural, algunos investigadores han mostrado la importancia de volver a estas fuentes originales e históricas en la búsqueda de nuevas comprensiones que amplíen las decantadas en los libros de texto didácticos. Sobre ellos se ha investigado ampliamente mostrando su carácter ideológico y el impacto que tiene en la enseñanza de las

Ciencias a ser uno de los recursos más usados por los profesores de Ciencias. La forma en que se presentan los conceptos científicos y la imagen que movilizan sobre la actividad científica y los científicos es unidimensional y lineal, como lo ha hecho notar Kuhn, en la Introducción de la Estructura a las revoluciones científicas (KUHN, 2013) y donde además agrega: “la historia no nos proporcionará ese nuevo concepto si los datos históricos siguen buscándose y examinándose principalmente para responder a las preguntas planteadas por el estereotipo ahistórico extraído de los textos de Ciencia”.

Así, volviendo a los aportes de los textos originales, Granés y Caicedo (1997) resaltan algunos aportes para los procesos de recontextualización de saberes:

El retorno a las fuentes puede ayudar a entender, en primer lugar, que los conceptos que finalmente fueron decantados en el paradigma y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo [...]; En segundo lugar, los textos originales, considerados dentro de un contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular. Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en muchas ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas [...]; En tercer lugar, el recurso a la historia de las ciencias y a los textos originales es, con frecuencia, la única manera de responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y la fundamentación de principios básicos de la Física [...]. Finalmente, el recurso a los textos originales permite entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto [...]. (GRANÉS; CAICEDO, 1997, p. 3)

A pesar de las ventajas y aportes que el estudio y uso de textos originales pueda tener, existen dificultades para que hagan parte de los textos que se movilizan en la formación inicial y continua de los profesores de Ciencias. Algunas causas de estas dificultades, en primera medida, está en encontrar buenas traducciones a los idiomas en que no fueron escritos y las barreras que el propio tipo de lenguaje dependiente de la época aparece en el texto. Almeida y Sorpreso, (2011) desarrollan un dispositivo analítico desde el AD para realizar lecturas de textos didácticos, de divulgación científica y científicos en el marco de la enseñanza de las Ciencias identificando que estos textos movilizan diferentes interdiscursos, por lo cual se hace necesaria una propuesta para abordarlos en situaciones de enseñanza. Ellos mencionan:

[...] o professor pode modificar as condições de produção da leitura do aluno: de um lado, propiciando-lhe que construa sua história de leituras; de outro, estabelecendo, quando necessário, as relações intertextuais, resgatando a história dos sentidos do texto (ORLANDI, 1984, p. 8 apud ALMEIDA; SORPRESO, 2011, p. 85).

Justamente, en esta tesis se considera que además de las razones expuestas para incluir textos originales y de divulgación científica en la formación inicial de profesores, es ampliar los discursos que convergen en el aula y los sentidos que los formadores y por supuesto, los futuros profesores generan y movilizan. Esto por supuesto, desde una perspectiva sociocultural,

es una forma de resistencia y transformación de las formas en las que usualmente se presenta el conocimiento científico en el aula, alejándonos de posturas excluyentes, dogmáticas, ahistóricas y sobre todo apolíticas.

El dispositivo analítico retoma cuatro elementos que a continuación se presentan y que procuran la relación entre el lector y el texto. Este foco es interesante y se distingue de una visión a-problemática y pasiva de la lectura. Reconocer los sujetos, contextos, sentidos que están presentes en la lectura de un texto original podría aportar nuevas formas de pensar la intervención de formadores en el aula. (Véase Cuadro 13).

Cuadro 13 – Elementos del AD para la lectura de textos didácticos, de divulgación y científicos

ELEMENTOS DEL AD	CARACTERÍSTICAS
Condiciones de producción de la lectura y el texto	Es la necesaria relación tanto con las condiciones inmediatas (contexto de lectura) como con la exterioridad (condiciones sociohistóricas) lo que pone de manifiesto la incompletitud del texto.
Formaciones imaginarias	En la interacción discursiva entre el lector y el texto, no es posible prescindir de la posición discursiva en la que se inserta el lector, aquella en la que sitúa a sus interlocutores, los autores de lo que está leyendo,
Formación discursiva	[...] la misma palabra, en la misma lengua, significa de manera diferente, según la posición del sujeto en una u otra formación discursiva” (ídem, p. 12)
Interdiscurso	[...] se define como aquello que habla antes, en otro lugar, de forma independiente. Es decir, es lo que llamamos memoria discursiva: el conocimiento discursivo que hace posible todo el decir y que retorna en forma de preconstruido, lo ya dicho que está en la base de lo decible, apoyando cada toma de la palabra. El interdiscurso pone a disposición dichos que afectan a la forma de significar del sujeto en una situación discursiva determinada (1999, p. 31)

Fuente: Adaptada de Almeida y Sorpeso (2011, p. 85).

4.2.2 Dispositivo para el análisis de los discursos de los formadores sobre la Enseñanza de la Óptica y Naturaleza de la Luz.

La aproximación a las investigaciones sobre formadores y estudios sobre HFSC para la EC, particularmente en el caso de óptica, nos llevan a construir un dispositivo analítico de interpretación que:

tiene como característica colocar lo dicho en relación a lo no dicho, lo que el sujeto dice en un lugar con lo que es dicho en otro lugar, o lo que es dicho de un modo con lo que es dicho de otro, procurando oír, en aquello que el sujeto dice, aquello que él no dice pero que constituye igualmente los sentidos de sus palabras (ORLANDI, 2006, p. 59).

Por tanto, la pregunta que guía la construcción del dispositivo analítico de investigación es: **¿Qué formaciones imaginarias son movilizadas sobre la enseñanza de la Óptica para la FIPF por parte de los formadores?** Así, los sentidos movilizados sobre la enseñanza de la óptica están en relación con las consideraciones sobre las relaciones: a) sujetos-conocimiento científico, b) conocimiento científico- instituciones educativas- sociedad, c) sujeto-instituciones educativas- sociedad. Estas tres relaciones son estudiadas a través de la HFSC en la enseñanza de las Ciencias entre otras relaciones entre objetos de estudio.

En el movimiento como analista de hacer inteligible, interpretar y llegar a la comprensión de las redes de sentido que se movilizan en el diálogo entre los formadores se utilizaran algunos elementos del AD que se enlistan a continuación: contextos de producción de sentidos, paráfrasis y polisemia, las relaciones de fuerza y las formaciones discursivas.

La organización del diálogo entre los formadores y la formadora novel se dio en dos partes y a través de dos preguntas. El primer cuestionamiento fue 1) ¿Como nos formaron en este tema de la óptica? La intención de esta pregunta fue activar la memoria de los formadores y establecer un espacio común en el que el diálogo iniciara desde donde todos sintieran que podían hablar, su experiencia en la formación inicial. Según Almeida (2012)

Vivências anteriores, na docência em outras aulas e, inclusive, sua história de vida fora da escola, bem como as aulas de que participou como estudante no ensino básico, aspectos do imaginário social, frequentemente divulgados pela mídia quando se refere à ciência, o maior ou menor reconhecimento social da sua profissão e, sem dúvida, as disciplinas cursadas na universidade são alguns dos fatores importantes na história de vida do professor e, conseqüentemente, na constituição da memória que ele carrega quando inicia uma aula (ALMEIDA, 2012, p. 38).

Por tanto, en esta primera parte se procura las formaciones imaginarias de los formadores, al activar su memoria como estudiante universitario.

La segunda pregunta procuro polemizar la formación de profesores en Óptica y generar la discusión en torno a lo que debe saber el futuro profesor de Física para la enseñanza de la Óptica explicitando las expectativas, *los conocimientos, habilidades y actitudes* que recaen sobre los futuros profesores de Ciencias y las expectativas propias desde su autoimagen.

Teniendo en cuenta lo anterior, la organización del análisis tendrá en cuenta estos dos momentos del diálogo, en el que el cuestionamiento por las relaciones entre a) sujetos-conocimiento científico, b) conocimiento científico- instituciones educativas- sociedad, c) sujeto- instituciones educativas- sociedad, se construye a través de comprender las formaciones imaginarias en el discurso de los formadores de profesores de Ciencias a través de las condiciones de producción en un sentido amplio y estricto, las relaciones de fuerza y de sentido, la paráfrasis y polisemia y los mecanismos de anticipación. Sin embargo, es importante notar

que estos elementos emergen en el diálogo y en el análisis no hay pretensión de enlistarlos, sino de usarlos para la comprensión de lo que se está diciendo cuando los formadores hablan de Enseñanza de la Óptica. Esto es, utilizando la metáfora como recurso, es como si el diálogo fuese una animación con movimiento, sonido, elementos textuales y semióticos, todos juntos y como analista, voy cuadro a cuadro en la búsqueda de la comprensión de toda la animación.

5. EL DIÁLOGO ENTRE LOS FORMADORES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA EN LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE CIENCIAS

A continuación, se presenta el análisis del discurso del diálogo entre los formadores sobre Enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores. En primera instancia, se establecen las condiciones sociohistóricas donde ha tenido lugar la formación de profesores de Física en Colombia. En este apartado se busca señalar importantes acontecimientos y movimientos políticos y organizativos que determinan la forma en que el sistema educativo colombiano se configura y su estrecha relación con la configuración de los programas de formación inicial de profesores de Física en Colombia.

Posteriormente se detallan las condiciones de producción en un sentido estricto, en el que el diálogo entre los formadores se produce, explicitando el proceso de configuración del grupo de discusión de formadores. Posteriormente se analiza el diálogo alrededor de dos preguntas ¿Como nos formaron en óptica? Y ¿Qué debe saber un profesor de Física para enseñar óptica?

5.1 Condiciones sociohistóricas de la formación de profesores de Física en Colombia. Una mirada histórica desde los programas de formación de profesores de Física

En Colombia particularmente, la profesión docente no goza del mejor prestigio social y frente a las políticas de explotación laboral, las jornadas laborales extendidas y la falta de reconocimiento salarial justo, hace que no se puedan retener buenos maestros en el sistema educativo. De hecho, la docencia es una profesión en la que muchos estudiantes se inscriben esperando poder cambiar a otras, es decir, no es la primera opción entre los mejores estudiantes. Así mismo, los profesores en ejercicio se ven obligados a enfrentar aulas con muchos estudiantes y poco acompañamiento de otros profesionales para apoyarlos en la compleja red de problemas psicosociales que se presentan en la escuela colombiana, lo que posiblemente genera desgaste físico y emocional en ellos. Así mismo, si bien se reconoce la necesidad de continuar los procesos de formación, con la doble jornada y la poca remuneración salarial, poco espacio queda para participar de programas de formación continuada. La pregunta es ¿Cómo llegamos a esta situación?

5.1.1 La educación colombiana desde el siglo XX hasta nuestros días: la pieza clave olvidada para la paz.

El siglo XX puede entenderse como aquel en el que la humanidad desarrollo su capacidad para preservar y aniquilar la vida al mismo tiempo. La conquista del espacio, la

expansión de la esperanza de vida por la penicilina y las vacunas, los procesos de industrialización, comunicación y transporte marcaron los hitos más importantes del siglo XX y una idea de progreso humano que se basó en la Ciencia, la Tecnología y la Educación.

Esta breve descripción se asemeja a la que podríamos hacer de un árbol visto por un observador ubicado en su base que intenta abarcar los aspectos más generales de esté ¿Qué descripción obtendríamos si el espectador se ubica en una de las ramas y describe el árbol y lo que ocurre en la rama? Bajo esta metáfora se aborda la historia del siglo XX vista desde Colombia, en donde nos interesa particularmente el desarrollo de la educación y las facultades de educación y Ciencias, así como sus vínculos con el proyecto de sociedad y país que se forjó.

En términos generales, la primera mitad del siglo XX estuvo marcada por: la I Guerra Mundial, en donde se probaron por primera vez armas químicas; la peste española o pandemia de gripa en 1918; el desarrollo de la insulina y la penicilina que ha salvado innúmeras vidas; la ampliación de los medios de transporte con el avión y el automóvil. Así mismo, en la Física asistimos a una revolución científica con la publicación en 1919 de la teoría general de la relatividad, que modificó la comprensión del universo y del tiempo y la conquista del espacio, los vuelos espaciales en el marco de la carrera espacial y la llegada del hombre a la Luna.

Con este paño de fondo, Colombia entraba al siglo XX con la guerra de los Mil días (que en realidad duro 1.130 días) librada por los dos partidos tradicionales colombianos: liberales (rojos) y conservadores (azules). La economía del país para la época dependía fuertemente de las exportaciones del café que estaban a la baja y la industria poco se había desarrollado. Además, en 1903 se produjo la separación del estado de Panamá con apoyo de Estados Unidos.

Hasta 1930 el poder estuvo a cargo de los conservadores, que se dividían en moderados y nacionalistas. El poder de la iglesia y sus relaciones con el estado eran fuertes. Esto se reflejó en la Ley de educación 39 de 1903 que decretó: “Art. 1º La Instrucción Pública en Colombia será organizada y dirigida en concordancia con la Religión Católica. Art. 2º La Instrucción Pública se dividirá en Primaria, Secundaria, Industrial y Profesional” Así, la educación primaria era gratuita pero no obligatoria y tenía un énfasis práctico, donde “se enseñen las nociones elementales, principalmente las que habilitan para el ejercicio de la ciudadanía y preparan para el de la agricultura, la industria fabril y el comercio”³⁸. Por su parte, la educación secundaria estaba orientada en su mayoría a las élites (RAMÍREZ; TÉLLEZ, 2006, p. 25), y se dividía en

³⁸ <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1594188>.

técnica y clásica, siendo la primera el enfoque en la educación pública: “En los Colegios e Institutos establecidos oficialmente con rentas nacionales, departamentales o municipales, se dará de preferencia la instrucción técnica”. Así, la orientación de la educación pública en esta primera parte del siglo XX en Colombia era la capacitación de personal para desarrollar la agricultura e industria del país. Un elemento fundamental para resaltar fue la descentralización de la financiación de la educación pública en el país, pues en esta misma ley se decretó que los departamentos estarían a cargo de la educación primaria pública. En esa época, el desarrollo de las regiones era desigual (y lo sigue siendo) por lo que se profundizaron las desigualdades en términos de municipios y regiones, así como entre la zona rural y urbana.

En 1928 tuvo lugar la masacre de las bananeras, uno de los acontecimientos más violentos de la historia de Colombia y en donde el Gobierno del conservador Miguel Abadía Méndez en contubernio con la empresa United Fruit Company, actualmente Chiquita Brand International, reprimió una manifestación y asesinó a más de 1800 trabajadores. Eran épocas de la revolución rusa y en Colombia se pretendió apagar cualquier conato de revolución bolchevique. Es importante notar que los principales sectores de exportación en los años 20 de Colombia fueron el banano y el café. En el año anterior, se decretó bajo la Ley 56 de 1927 la obligatoriedad de la educación primaria para todos los niños menores de 14 años. Sin embargo, frente a la crisis de las escuelas normales, que habían tenido que cerrar después de la guerra de los Mil Días, había escases de maestros y escuelas. La poca claridad de la financiación de maestros, infraestructura y materiales por parte de la nación y los departamentos hacía difícil cumplir a cabalidad con esta ley. De hecho, se estima que en este periodo el 66% de los profesores no tenían ningún tipo de grado en promedio, y particularmente en las zonas rurales, el porcentaje ascendía al 82% (RAMÍREZ; TÉLLEZ, 2006).

La danza de los millones, en la década de 1920 a 1930, amortiguó el impacto de la Gran Depresión de 1929 en Colombia, que generó una pequeña contracción en la economía, pero en comparación con el impulso que supuso el pago de la indemnización de EE. UU. por el canal de Panamá y el acceso al crédito, no afectaron el proyecto de modernización vial y de infraestructura que se había emprendido. Entre 1930 y hasta 1946 se entró en un periodo de gobierno liberal en el que se promulgaron leyes para eliminar la discriminación en las escuelas por raza, religión, diferencias sociales y de nacimiento ilegítimo³⁹, así como se percibió un aumento de la financiación de la educación pública. En esta época se abrieron dos facultades de Educación en el país, una en Bogotá y otra en Tunja, que luego se fusionaron bajo el nombre

³⁹ <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1588495>.

de Escuela Normal Superior. También se homogenizaron los currículos de los colegios públicos y privados. Sin embargo, la educación secundaria seguía siendo dirigida a la elite.

Mientras se terminaba la II Guerra Mundial, en Colombia se exacerbó la violencia bipartidista (Conservadores vs liberales). El punto álgido fue el 09 de abril de 1948 con el asesinato de Jorge Eliecer Gaitán, dirigente del partido liberal. En Bogotá, la capital de Colombia, estallaron una serie de disturbios que se propagaron por otras regiones del país. A este episodio se le conoce como el Bogotazo. Mientras tanto, en educación, los indicadores de analfabetismo disminuían y hubo una expansión del sistema educativo colombiano, caracterizado por una planeación. Llama la atención que en este periodo se reconoce la educación, o más bien la falta de ella, como un factor determinante en la violencia que aquejaba el país. Al respecto (RAMÍREZ; TÉLLEZ, 2006, p.45) mencionan:

El enfrentamiento entre conservadores y liberales y los dramáticos resultados en términos de pérdidas de vidas humanas y destrucción Física no detuvieron la expansión en la educación y por el contrario dieron elementos a las clases dirigentes para destacar la importancia de educación. Es ilustrativa la posición de Alberto Lleras Camargo en 1954 quien identifica la falta de educación tanto de las clases menos favorecidas como de las clases dirigentes como una de las causas de La Violencia.

En el 53 se instauró una junta militar en el gobierno y en el 56 se firmó el pacto de Benidorm entre los dos partidos políticos tradicionales: conservadores y liberales, para turnarse en el poder. A esto se le conoce como el frente nacional, que se extendió por veinte años, desde 1958 hasta 1978. Sin embargo, otros actores políticos entraron en juego y no estuvieron de acuerdo con la repartición del poder y la tierra como hasta ese momento se había dado en el país. Esto dio lugar a la creación de grupos de bandoleros también conocidos como chusmas, que en su mayoría eran campesinos que simpatizaban con las ideas liberales y pájaros, otro grupo que simpatizaba con los conservadores.

En educación, los indicadores siguieron creciendo, aumentando las tasas de educación primaria y secundaria, así como la formación de profesores. El plan de desarrollo económico y social impulsado entre 1961 y 1964 abogó por una planeación que lograra universalizar el acceso a la educación primaria en el país para reducir la pobreza, tanto para el sector urbano como el rural, así, aumentaron las construcciones de escuelas y colegios. También se aumentó la cantidad de establecimientos públicos de educación secundaria, lo que también se vio reflejado en el incremento de las tasas de escolaridad en este nivel. Por ejemplo, en 1969 se crearon los INEM (Institutos de Enseñanza Media Diversificada) que buscaron diversificar la oferta educativa en este nivel. En 1976 se implementó la Escuela Nueva como modelo de educación en las zonas rurales.

Con respecto a los profesores, se avanzó hacia legislaciones para regular sus salarios, pues en las zonas rurales devengaban salarios muy por debajo de lo estipulado en los centros urbanos. La ley 111 de 1960 decretó: “Desde el primero (1º.) de enero de mil novecientos sesenta y uno (1961) la Nación tendrá a su cargo el pago de los sueldos del magisterio oficial de la enseñanza primaria en todo el territorio de la Republica”⁴⁰. También, en 1962 se creó la Federación Colombiana de Educadores (FECODE), con una fuerte presencia en las políticas y reivindicaciones en términos de salarios y capacitación de los maestros, que en su mayoría eran de educación primaria.

Se puede afirmar que, en el periodo del Frente Nacional, la educación en Colombia tuvo importantes cambios, sin embargo, no los suficientes para superar el atraso con respecto a otros países de la región, y tampoco para mostrar un proyecto de país y sociedad donde ella tuviera un lugar protagónico en la reducción de la desigualdad social que se vivía en el campo y la ciudad.

Las décadas de los 60 y 70 estuvieron marcadas por la injerencia de los EE. UU en la política latinoamericana, en el marco de la guerra fría. Reflejo de esto son los golpes militares y la puesta en marcha del plan cóndor que dieron lugar a las dictaduras en Bolivia (1962), Brasil (1964), Chile (1973), Uruguay (1973) y Argentina (1976). Después del Frente Nacional, le siguió un gobierno liberal más y otro conservador. La economía en los años ochenta se contrajo y en los años noventa decayó el presupuesto para la Educación que había tenido una tendencia al alza. También se resalta la injerencia del Banco Mundial a través de préstamos para el desarrollo de la Educación primaria en Colombia. Si bien Colombia no tuvo una dictadura militar explícita, durante casi todo el siglo XX la violencia marcó el ritmo de los pocos desarrollos del país, con un conflicto inicialmente bipartidista y que luego incluyó nuevos actores como las guerrillas de las FARC (1964-2016), ELN (1964-Presente), EPL (1967-1991), M-19 (1974-1990). Esta violencia y la falta de un proyecto de país que pusiera en un lugar articulador y pacificador a la educación, condenaron a las colombianas y colombianos a una educación sin financiación, propósito y calidad.

En 1985 se intentó establecer un proceso de paz entre el gobierno del entonces presidente Belisario Betancourt (1982-1986), perteneciente al partido conservador, y las FARC. En estos acuerdos se buscó la desmovilización y se planteó la posibilidad de que el grupo armado se convirtiera en partido político. Sin embargo, no se dio la entrega de armas y la falta

⁴⁰ <http://www.suin.gov.co/viewDocument.asp?id=1644232>.

de condiciones de seguridad y cumplimiento de acuerdos resquebrajaron el proceso.⁴¹ Así, esta víspera de cambio de siglo se caracterizó por el agotamiento social producto de una guerra entre narcotraficantes, estado, grupos alzados en armas y otros actores del conflicto armado, así como el fracaso de las negociaciones con las FARC.

Todos estos conflictos rápidamente se trasladaron de las siempre olvidadas y abandonadas zonas rurales, a las ciudades. Los tres gobiernos liberales que siguieron al de Betancourt, el de Virgilio Barco del 1986 a 1990, Cesar Turbay de 1990 a 1994 y Ernesto Samper de 1994 a 1998 estuvieron marcados por la violencia perpetrada por narcotraficantes, paramilitares, guerrilleros y el Estado Colombiano. El asesinato de cuatro candidatos presidenciales y el genocidio político de la Unión Patriótica con el exterminio sistemático de miembros de este partido político por paramilitares durante la década de los 80 y 90, marcaron un clima de violencia e intolerancia nunca antes visto en el país.

Pero también hubo iniciativas para reformular el país. En el gobierno de Barco se dio el proceso de la séptima papeleta en 1988, un movimiento liderado por el movimiento estudiantil para cambiar la constitución de 1886. La constitución vigente hasta ese entonces era la de 1886 y estaba orientada principalmente con preceptos conservadores. Después de 104 años se dio paso a un proceso que reconocía a otros sujetos de derecho y sentaba las bases de un estado moderno en Colombia. Así, en el gobierno de Cesar Turbay se realizó la Asamblea Nacional Constituyente, con cinco comisiones y una presidencia tripartita (M-19, Liberales y conservadores). Este proceso que concentraba la esperanza de una convivencia pacífica y reconocía a Colombia como una país diverso, pluricultural y pluriétnico, era un gran pacto nacional donde muchos actores sociales por fin eran tenidos en cuenta.⁴² Este proceso estuvo antecedido por el proceso de Paz con el M-19 en el gobierno de Virgilio Barco (1986-1990). El 9 de marzo de 1990 se firmó el acuerdo de paz entre el estado colombiano y este grupo guerrillero.

Con respecto a la educación, era el momento para que fuese reconocida como un derecho que garantizara el estado colombiano. La asamblea constituyente contó con cuatro comisiones que trabajaron tangencialmente en la educación como: “a) un derecho, b) competencia de las entidades territoriales, c) responsabilidad de los órganos nacionales del Estado y d) asunto de la economía y de la hacienda pública” (CAJIAO, 2004, p. 40). De esto, es importante resaltar la poca claridad en la financiación y responsabilidad del Estado en la

⁴¹ <https://verdadabierta.com/acuerdos-del-cese-al-fuego-entre-1984-y-1986-con-las-farc-el-m-19-el-epl-y-la-ado/>

⁴² <https://www.banrepcultural.org/coleccion-bibliografica/especiales/asamblea-nacional-constituyente-archivo>

Educación de los colombianos, lo que afectaba el pago de profesores, infraestructura y que los recursos llegaran a las zonas más apartadas del territorio. Sin embargo, Abel Rodríguez, profesor que participó en estas comisiones e hizo parte del equipo de la asamblea constituyente, considera que, aunque la educación era un problema social agudo, no llegó a ser prioridad nacional y por tanto no fue uno de los asuntos que promovió la constituyente del 91, pues se vio opacada por otros problemas más urgentes y sentidos como “la violencia, el terrorismo, la corrupción, el clientelismo, etc.” (CAJIAO, 2004, p.40). Esto no quiere decir que no fuese importante el esfuerzo que muchos constituyentes y sectores de la sociedad civil realizaron para entrar en las discusiones. De hecho, el profesor Cajiao resalta que el proceso de la constituyente fue un ejercicio educativo que por primera vez en el país nos planteó una nueva forma de hacer las cosas, diversificando los participantes de las decisiones del país y los mecanismos de participación que hasta entonces estaban centralizados y jerarquizados. Al respecto menciona:

[...] Pero al plantear una nueva concepción de la participación democrática, otro modelo de organización del Estado y un régimen de descentralización que antes no existía, la Constitución se convirtió en un instrumento pedagógico que impulsó nuevas formas de hacer las cosas, invitando a la ciudadanía a ocuparse de temas que antes eran un patrimonio casi exclusivo del poder ejecutivo (CAJIAO, 2004, p. 40).

Además de la nueva constitución del 91, por primera vez en Colombia se dio paso a la Ley general de Educación de 1994 y esta a su vez señaló la necesidad de un plan decenal de Educación, que implicaría una proyección y planeación de la Educación en Colombia. Este proceso liderado por FECODE, pretendía establecer una legislación que reglamentara la educación colombiana. Infelizmente muchos sectores quedaron excluidos, la ley dejó por fuera la Educación Superior y se perdió la posibilidad de reconocer la Educación como un derecho y no como un servicio. A continuación, se muestra en negrilla estos dos aspectos en el texto original de la Ley General de Educación de 1994

La presente Ley señala las normas generales para regular **el Servicio Público de la Educación** que cumple una función social [...]Se fundamenta en los principios de **la Constitución Política sobre el derecho a la educación** que tiene toda persona, en las libertades de enseñanza, aprendizaje, investigación y cátedra y en **su carácter de servicio público.**

De conformidad con el artículo 67 de la Constitución Política, define y desarrolla la organización y la prestación de la educación formal en sus niveles preescolar, básica (primaria y secundaria) y media, no formal e informal, dirigida a niños y jóvenes en edad escolar, a adultos, a campesinos, a grupos étnicos, a personas con limitaciones físicas, sensoriales y psíquicas, con capacidades excepcionales, y a personas que requieran rehabilitación social.

La Ley General de Educación, por tanto, ha sido el marco en el que se ha desarrollado la Educación colombiana en estos primeros veinte años del siglo XXI.

El primer plan de Educación adelantado fue el de 1996-2005 y según Abel Rodríguez apud (CAJIAO, 2004, p. 44),

«El Plan Decenal fue concebido para cumplir una doble función: de un lado, servir como instrumento de planeación del desarrollo educativo a nivel nacional, departamental, distrital, municipal e institucional; y, del otro, servir como instrumento de movilización de la opinión pública y de la ciudadanía por la educación.

Ese último aspecto se alinea con la propuesta de la Constitución del 91 de ampliar y generar espacios e instrumentos de participación ciudadana, sin embargo, muchos sectores académicos, productivos y sindicalistas no se sintieron recogidos. El proceso de construcción del I Plan Nacional de Desarrollo movilizó diferentes mecanismos de participación como mesas en las regiones, las secretarías de educación, foros en las Universidades, etc. Cajiao (2004) menciona que amplios temas políticos se pusieron en la mesa, tales como “la pertinencia de la educación en el contexto de un proyecto de país; la presencia de lo regional y de lo local; la relación entre educación y desarrollo económico y el papel definitivo de las instituciones escolares” (p. 45).

Como se evidencia, este plan Nacional de Educación atravesó tres gobiernos: Ernesto Samper-Liberal (1994-1998), Andrés Pastrana Arango- conservador (1998-2002) y el primer gobierno de Álvaro Uribe Vélez (2002-2010) quién antes perteneció al partido liberal, pero se presentó a la presidencia como candidato independiente y fundó el partido de la U (Partido de la Unidad Nacional). Pues bien, este plan de desarrollo poco se tomó en cuenta para el diseño y planeación de la educación colombiana en ese periodo. Al respecto (CAJIAO, 2004, p. 46) menciona:

En los últimos ocho años, la política educativa ha vuelto a centrarse en planes y programas cocinados en el Ministerio de Educación, con énfasis en el desarrollo de mecanismos de control y de estrategias de eficiencia, dejando de lado las grandes discusiones sobre el sentido del Sistema Educativo en relación con el desarrollo humano y con las grandes problemáticas del país.

Infelizmente, durante estos tres periodos presidenciales, la violencia se agudizó con nuevos actores. En el gobierno del expresidente Andrés Pastrana se fracasó en un acuerdo de paz con las FARC en 1998 y con el ingreso del discurso antiterrorista que se dio después del 11 de septiembre del 2001, el presupuesto para la guerra se aumentó. El gobierno de Álvaro Uribe Vélez está marcado por un proceso de “desarme de los paramilitares”, sin verdad, justicia y reparación, y un aumento en lo que se denominó en este gobierno, el combate del terrorismo. En ese afán de justificar la guerra entre el 2002 y el 2010, tienen lugar más de 6402 ejecuciones extrajudiciales de campesinos, jóvenes de sectores populares, personas con discapacidad,

indígenas, habitantes en condición de calle, entre otros, pero que no eran combatientes y que fueron presentados como bajas en combates.

Desde los primeros años del siglo XXI, las preocupaciones en Educación han girado en torno a la calidad. En ese sentido, las diferentes reformas en los gobiernos de Samper, Pastrana, Uribe y Santos tuvieron esa bandera. Pero ¿Qué significa Educación de Calidad? ¿Cómo se determina esta calidad? Pues bien, el movimiento pedagógico ya alertaba de los peligros de la injerencia extranjera en las políticas públicas de Colombia, particularmente con organismos como la OCDE, el FMI, entre otros.

Desde el 2013⁴³, el país inicio el proceso de adhesión a la OCDE y empezó a adelantar una serie de reformas de acuerdo con las solicitudes de los diferentes comités de este organismo:

A partir de ahora, los funcionarios colombianos comenzarán a participar en los comités de la OCDE, compuestos por expertos de los países miembros, en los siguientes ámbitos: inversiones; cohecho en las transacciones comerciales internacionales; gobierno corporativo; mercados financieros; seguros y pensiones privadas; competencia; impuestos; medio ambiente; sustancias químicas; **gobernanza pública**; política regulatoria; estadísticas; economía; **educación**; empleo, trabajo y **asuntos sociales**; salud; comercio; créditos para la exportación; agricultura; pesca; **ciencias y tecnología; tecnología de la información y comunicaciones**; y políticas del consumidor.

En este mismo gobierno, presidido por Juan Manuel Santos- Partido de la U (2010-2018) se firmó el acuerdo de paz con las FARC y se iniciaron negociaciones con el grupo guerrillero ELN. Este proceso plantea un hito histórico en términos de procesos de justicia en el mundo. Para las negociaciones, el apoyo de la comunidad internacional fue fundamental, como garantes de los acuerdos. Uno de los mayores logros de este proceso es la JEP (Justicia Especial para la Paz) que más allá de condenar, busca verdad, justicia y reparación para las víctimas del conflicto armado en Colombia. En el marco de la JEP es que actualmente estamos armando el rompecabezas del conflicto armado en Colombia, con sus actores, fines y consecuencias.

Volviendo al inicio de este apartado y a manera de síntesis, el reconocimiento de la Historia de Colombia, de la que tiramos uno de sus hilos: la educación, nos lleva por un recorrido doloroso en el que se evidencia una falta de compromiso político de las elites que vienen rotándose el poder en el país desde el siglo XX. La violencia es un síntoma de una herida profunda: la desigualdad social, que se afianza con el desdén por la vida, la falta de preocupación por el bienestar de todas y todos y la falta de reconocimiento de la diversidad en

⁴³ <https://www.oecd.org/newsroom/la-ocde-inicia-formalmente-el-proceso-de-adhesion-de-colombia.htm>.

nuestro país. La educación ha sido un olvido recurrente e intencional, que se refleja en la falta de financiación, ausencia de políticas públicas claras y falta de concepción en el proyecto de sociedad, más allá de cada gobierno de turno.

Sin embargo, aún es posible darle a la educación un papel en la sociedad colombiana, hoy más necesario que nunca, y es en la construcción de paz y la defensa de la vida. En este sentido, los procesos de formación de profesores de Física podrían contribuir una educación científica y tecnológica que contribuya al desarrollo del país y a la justicia social y ambiental. La pregunta ¿para qué enseñar Física en Colombia?, nada fácil de abordar, es importante hacerla a los formadores de profesores y cualquier respuesta que podamos dar, con suerte contribuye a continuar labrando camino para la paz con justicia social y ambiental en Colombia.

5.1.1.1 Los programas de formación de profesores de Física en Colombia: entre la tradición pedagógica y las reformas del MEN.

Continuando con las condiciones de producción de los discursos y el reconocimiento del contexto sociohistórico donde tiene origen el problema de esta tesis, nos preguntamos ¿Dónde se han formado los profesores de Física en Colombia?

En efecto, como se mostró en el apartado anterior, en la primera mitad del siglo XX, la educación de los profesores de educación básica estaba orientada por las escuelas normales que adquirieron gran relevancia y visibilidad por la misión alemana de 1872, pero que datan de 1822 cuando Santander fundó la primera en Bogotá (RESTREPO GÓMEZ, 1994). Por su parte, las Universidades, desde su creación en la colonia, estuvieron pensadas para la formación de los españoles y criollos, estos últimos se caracterizaban por ser descendientes de españoles o europeos, nacidos en territorio americano. Después de la instauración de la república, la Universidad pasó a ser uno de los proyectos más importantes de Santander para formar a los nuevos dirigentes que conducirían el país. Al respecto (JARAMILLO; RUIZ, 1978, p. 298) menciona:

La educación, tanto la primaria como la media y la superior fue una de las primeras preocupaciones de los gobiernos republicanos y particularmente de Bolívar y Santander. Y era explicable, el nuevo Estado necesitaba ampliar su clase dirigente y capacitara para asumir sus nuevas tareas en la administración pública, en conducción de las relaciones exteriores, en las mismas labores cativas y en las actividades privadas

Al entrar al siglo XX, la Universidad Colombiana era tradicional, fuertemente arraigada a ideas conservadoras y estaba a cargo de la iglesia católica. Con la bonanza de los años 30 y el cambio de poder, con gobiernos liberales que vinieron después de la época conservadora, se llevó a cabo la reforma de 1935 en la Universidad Nacional, producto de la convergencia de

intereses liberales y el impulso del movimiento estudiantil de Córdoba- Argentina (ACEVEDO TARAZONA, 2015).

Esta reforma promovida principalmente por los estudiantes exigió mecanismos de participación para profesores y educandos en los órganos de dirección de la universidad, nuevos programas de formación de cara a un país que iniciaba un proceso de industrialización y nuevos métodos de enseñanza, donde se intentó privilegiar la investigación. Las carreras que se abrieron nuevas en la Universidad Nacional fueron: arquitectura, veterinaria, agronomía, química, filosofía, economía, administración de empresas, entre otras (JARAMILLO; RUIZ, 1978, p. 333).

En ese mismo periodo, con la crisis y el cierre de muchas de las escuelas normales y la necesidad de formar personal para el proceso de industrialización que se empezó a desarrollar en el país, el proceso de formación de profesores se centraliza en el interior del país. Beltrán y Cuellar (2013) ubican en la primera mitad del siglo XX, tres instituciones que surgen para atender la necesidad de formación de maestros para secundaria en Colombia. Así, en 1933 se funda la primera Facultad de Ciencias de la Educación en la Universidad Nacional de Colombia, la cual contemplaba como escuelas de especialización: 1) Pedagogía, 2) Ciencias históricas y geográficas, 3) Ciencias fisicoquímicas, 4) Biología, 5) Filosofía y Letras, 6) Matemáticas e 7) Idiomas (MEN, 1933)⁴⁴. Así mismo, en 1934 se creó la Facultad de Ciencias de la Educación para señoritas en Bogotá, por medio del Ministerio de Educación Nacional, también asociada a la Universidad Nacional de Colombia. En el mismo año, pero en la ciudad de Tunja, se fundó la Facultad de Ciencias de la Educación con las mismas características que la de Bogotá. Estas tres instituciones, dos en Bogotá y una en Tunja, se fusionaron en 1935 bajo la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de Colombia. Sin embargo, en 1936

el Congreso de Colombia, mediante ley 39 del 21 de febrero de 1936, dispuso que la Facultad de Ciencias de la Educación continuará funcionando con el nombre de Escuela Normal Superior y bajo la tutela del Ministerio de Educación Nacional e independiente de la Universidad de Nacional (BELTRÁN; CERQUERA, 2013, p. 25).

Uno de los cambios que se dio con la llegada de profesores extranjeros a la Escuela Normal estuvo en los pensum y especializaciones, así, se redujo de siete a seis especializaciones 1) Ciencias sociales; 2) Filología e Idiomas; 3) Ciencias biológicas y Química; 4) Física y

⁴⁴ El texto es extraído de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1382172> consultado el 26 de abril del 2021.

Matemáticas; 5) Bellas artes y 6) Industrial⁴⁵ (MEN, 1938). En estos cambios es importante notar que se suprime pedagogía y química y se agrupan con Ciencias biológicas; matemáticas se une a Física, y por el momento socio económico que vive el país, se destaca la licenciatura industrial. La Escuela Normal Superior expidió los primeros diplomas sobre los títulos de Licenciados en Matemática y Física mediante el Decreto 163 de 1948:

ARTÍCULO 1°. El alumno que haya cursado y aprobado todas las materias del pñsum de la Escuela Normal Superior en la respectiva especialización tendrá derecho a recibir el título de Licenciado en Filología e Idiomas, Ciencias Biológicas y Química, Ciencias Sociales y Economía, Matemáticas y Física, Ciencias de la Educación, Educación Física, etc., según el caso⁴⁶.

En 1953, diez y siete años después de centralizar la formación de maestros de secundaria en la capital del país, se creó en Antioquia la Facultad de Ciencias de la Educación, que según García y Hurtado (1959, p. 206 apud BELTRÁN; CUÉLLAR, 2013, p. 25) buscaba “*resolver el problema de la educación secundaria en Colombia, que estriba principalmente en la falta de profesorado competente*”. Así mismo, nueve años después de la creación de esta facultad, se creó en la Universidad del Valle la Facultad de Educación (1962), con el mismo objetivo de “*responder y dar solución a la escasez de profesorado para la educación secundaria del Valle del Cauca en el contexto del interés local e internacional [F.Ford]*” (ZAMBRANO, 2020). Los programas de formación ofertados en esta última eran: Biología–Química; Matemática–Física; Educación Física y Salud en la Facultad de Educación⁴⁷. En 1955 cambia de nombre la Escuela Normal Superior y pasó a ser la Universidad Pedagógica Nacional de señoritas, reconociendo el fuerte liderazgo de Franzisca Radke, para finalmente en 1962 establecerse como una entidad de carácter mixto bajo el nombre de Universidad Pedagógica Nacional.

Hasta aquí es importante destacar, por un lado, que la profesionalización de los maestros en Universidades y centros especializados se da bajo el argumento de la escasez de profesorado para la secundaria. Esta distinción entre profesores de primaria y secundaria también se llevó al terreno del currículo y a las relaciones entre pedagogía y la disciplina científica. Así, una de las características de estos programas de formación para secundaria era el énfasis hacia la especialización en una disciplina científica (BELTRAN; CUÉLLAR, 2013). También se destaca la relación de las primeras facultades de Educación con el Ministerio de Educación Nacional, cuestión que en el movimiento pedagógico que se adelantó en los años 80 en

⁴⁵ El texto es extraído de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1245571> consultado el 26 de abril del 2021.

⁴⁶ https://normograma.info/men/docs/decreto_0163_1948.htm.

⁴⁷ Texto tomado de <https://www.univalle.edu.co/lo-que-pasa-en-la-u/historia-del-instituto-de-educacion-y-pedagogia>.

Colombia fue altamente cuestionada. Actualmente en el país existen 137 Escuelas Normales Superiores (ENS) que, a través de convenios con instituciones de educación superior, pueden ofrecer formación complementaria y expedir el título de normalista superior⁴⁸, apoyando la formación de profesores en Educación preescolar y básica primaria. La mayoría de estas ENS se encuentran en ciudades y corregimientos alejados de las capitales. A propósito (CALVO; LARA; GARCÍA, 2004, p. 5-6) mencionan:

las Escuelas Normales florecen principalmente en ciudades intermedias y poblaciones de los departamentos en los que se ubican –contrario a lo que ocurre con las facultades de Educación, que se concentran significativamente en Bogotá y en las grandes ciudades capitales departamentales.

En el movimiento pedagógico que tuvo lugar en los años 80, las facultades de educación y los intelectuales de las Universidades tuvieron un papel muy importante. Hasta este punto, parecía existir una estratificación al interior de los docentes, diferenciándose los de primaria, secundaria y universitarios. Sin embargo, el movimiento pedagógico logro generar una identidad entre los profesores de diferentes niveles, al resignificar el rol del docente en la sociedad como trabajador de la cultura. Valencia (2006, p. 102-103) puntúa:

Las Instituciones fueron tomadas por la Administración Educativa como nueva ciencia de la educación que a través de normas y decretos exhaustivos y prolijos les prescribía desde fuera lo que tenían que hacer y cómo debía hacerse.(3).Es frente a esta situación por lo que surgen grupos de investigación en la Universidad Nacional,(Bogotá) de Antioquia,(Medellín) Pedagógica nacional (Bogotá) y Universidad del Valle (Cali) dedicados a analizar y criticar la propuesta gubernamental desde sus fundamentos en el Taylorismo y en el conductismo además de revelar su intencionalidad política como dispositivo de control y reproducción ideológica.

Se resalta entonces, el trabajo de los grupos de investigación de las Universidades Nacional, Pedagógica Nacional, Antioquia y Valle en este movimiento pedagógico. Con esta nueva forma de comprender el papel de la educación en el contexto colombiano y con una esperanza renovada por los cambios que suponía la constituyente del 91, se cristaliza la idea de que la Educación, si bien por sí sola no transformaría a la sociedad, sería uno de los elementos más importantes para reducir la desigualdad y el profesor entonces es concebido como un agente cultural que puede reinventar la escuela y renovar sus prácticas pedagógicas a través de la reflexión y la investigación (VALENCIA, 2006).

Como se mencionó anteriormente, aunque la Constitución del 91 fue vista como una práctica educativa en sí misma, en ella la educación quedó como un servicio público y no un derecho fundamental. Así mismo, en la negociación entre FECODE y el gobierno, “para la ley

⁴⁸ https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-345504.html?_noredirect=1.

General de Educación de 1994, la Educación superior quedó por fuera” (CAJIAO, 2004, p. 43). Por tanto, en los años posteriores a la constitución de 1991 se expidieron normas para reglamentar la educación superior, diferentes de las que reglamentaron la Educación básica y media.

La Ley 30 de 1992, expedida dos años antes de la Ley de Educación Nacional de 1994, tuvo como objetivo organizar la educación superior como servicio público. En esta época asistimos a una apertura económica en el gobierno liberal de Cesar Gaviria y el auge de Tratados de Libre Comercio (TLC), que ampliaron su concepto de mercancía a los servicios. Esta ley particularmente legisló la autonomía universitaria, los entes de control y vigilancia de la Universidad, así como la financiación. Esta última deja muchas dudas frente al compromiso del Estado con la Educación Superior Pública y prepara el terreno para una serie de reformas que cumplieron directamente con los dictámenes del consenso de Washington.

Particularmente, al definir los campos de acción de la Educación superior, la Ley 30 de 1992 menciona: “Artículo 7° Los campos de acción de la Educación Superior, son: El de la técnica, el de la Ciencia, el de la tecnología, el de las humanidades, el del arte y el de la filosofía”. Frente a esto ¿En qué campo de acción se ubicarían los programas de formación de profesores de Física? ¿En humanidades? ¿Ciencias?

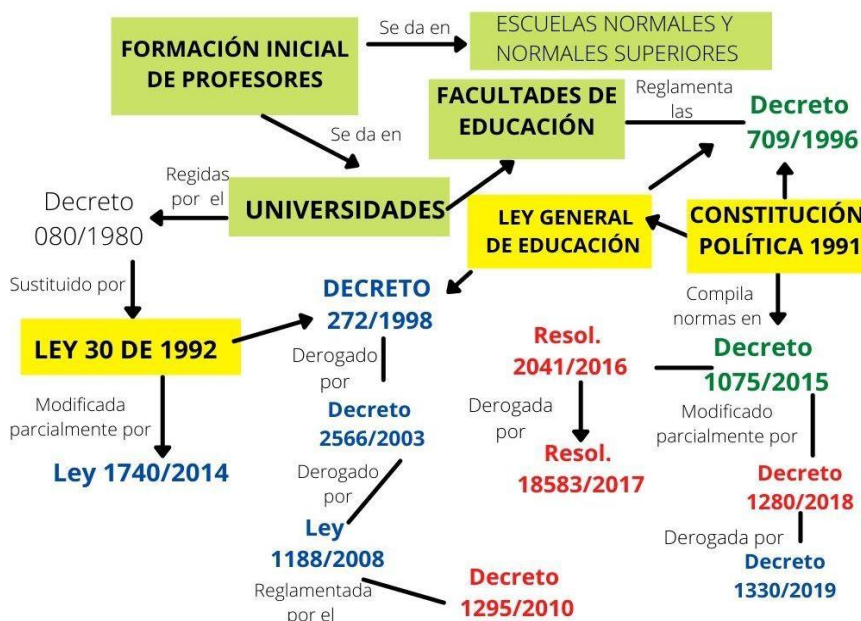
En el artículo 9, frente a la cantidad de programas que quedan por fuera bajo la clasificación anterior, tienen en cuenta programas de naturaleza multidisciplinaria y mencionan “Los programas de pregrado preparan para el desempeño de ocupaciones, para el ejercicio de una profesión o disciplina determinada, de naturaleza tecnológica o científica o en el área de las humanidades, las artes y la filosofía” (MEN, 1992). Según esto también implicó que la educación fuese vista como una ocupación, desligando los estudiantes de las Licenciaturas de la investigación. “Por ello era dable identificar al educador como aquel que “desempeña una ocupación” como cualquier otra ocupación, y que, para el educador, esta ocupación se podía entender como la de un “dictador de clase” (ARAGÓN *et al.*, 2004, p. 4).

El decreto 272 de 1998 se encarga de “establecen los requisitos de creación y funcionamiento de los programas académicos de pregrado y postgrado en Educación ofrecidos por las universidades y por las instituciones universitarias, se establece la nomenclatura de los títulos y se dictan otras disposiciones” En este decreto, resalta que se considera la pedagogía como la disciplina fundante de la Educación y la didáctica al interior de esta (Artículo 2). También se legisló la organización de los programas de formación indicando que estarían a cargo de universidad o instituciones universitarias, a través de una facultad de educación u otra

unidad académica dedicada a la educación, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 112 de la Ley 115 de 1994 (Artículo 5). También permitía la asociación con otras unidades académicas o facultades dedicadas al desarrollo de otros saberes, en la misma o en otra institución universitaria o universidad, para ofrecer conjuntamente programas de formación de educadores, desarrollar líneas de investigación educativa o promover programas de servicio educativo a la sociedad (Artículo 6).

A continuación, se muestra un esquema de las principales reglamentaciones para la formación inicial de profesores en Universidades. La información sobre los colores y los contenidos se explicitan en la Figura 25.

Figura 24 – Principales reglamentaciones para la Formación inicial de profesores en Universidades de Colombia



Fuente: Elaboración propia.

Lejos de querer ser exhaustivos con la cantidad de leyes, decretos y resoluciones que en cada gobierno de turno se expiden para la formación inicial de profesores, esto muestra la complejidad para el diseño y desarrollo de programas de formación de profesores en Colombia y la ausencia de un proyecto que, desde los diferentes grupos sociales y comunidades, *jale* para el mismo lado.

5.1.2 Condiciones de producción estrictas: La conformación de un grupo de discusión de formadores sobre la enseñanza de la Óptica.

El grupo de discusión es una técnica de investigación cualitativa que se sitúa en el contexto de discurso social. Retomando la definición de Canales y Peinado (1999, p. 289)

El grupo de discusión es una técnica de investigación social que (como la entrevista abierta o en profundidad, y las historias de vida) trabaja con el habla. En ella, lo que se dice-lo que alguien dice en determinadas condiciones de enunciación-, se asume como punto crítico en el que lo social se reproduce y cambia, como el objeto, en suma, de las ciencias sociales. En toda habla se articula el orden social y la subjetividad.

Esta técnica está en concordancia con el marco analítico de AD que se propone en esta investigación, pues es en la interacción discursiva que la subjetividad y la ideología aparecen para constituir lo social. Un elemento interesante para analizar es que la interacción entre dos o más participantes moviliza el discurso y los sentidos que cada sujeto ha construido, pero de manera contingente. Frente a esto Canales y Peinado (1999, p. 290) mencionan sobre el trabajo en grupo:

La razón la hallamos en las características mismas del discurso social. El discurso social, la ideología, en su sentido amplio como conjunto de producciones significantes que operan como reguladores de lo social-, no habita, como un todo, ningún lugar social en particular. Aparece diseminado en lo social. No es, tampoco, interior al individuo, en el sentido de una subjetividad personal, sino exterior, social, como ya pusieron de manifiesto Bajtin y su escuela, de un modo que se expresa clara y concisamente [...]

Como se evidencia, el grupo actúa como una entidad que ordena el discurso de acuerdo con la pertinencia y sentido social que se comparte y negocia. Algunas características del grupo de discusión son:

No son un grupo previo, esto es, el grupo se constituye por la situación discursiva, donde el investigador los reúne y los constituye como grupo. 2) El grupo de discusión realiza una “tarea”, es decir, el grupo simula un equipo de trabajo con una tarea concreta que promueve la discusión y genera una especie de “producto” 3) El grupo de discusión tiene un espacio de “opinión grupal”, funciona como un grupo que evalúa las opiniones válidas, pertinentes, adecuadas y válidas para el grupo (CANALES; PEINADO, 1999, p. 290).

Atendiendo a los criterios anteriormente mencionados, se constituye un grupo de discusión con formadores de profesores de Física que actúan en diferentes campos del saber. Todos son profesores que tienen alguna relación con la misma universidad, por lo cual tienen un espacio común de desarrollo profesional.

Cómo se mencionó anteriormente, los formadores de profesores de Ciencias Naturales en Colombia provienen de diferentes facultades y tienen diferentes formaciones académicas. Esto, lejos de ser una característica menor, determina una de las condiciones para tener en cuenta en el análisis de los discursos que se movilizan en el grupo de discusión. Los perfiles de

los convocados al grupo de discusión son contruidos a partir de la información que aparece en su currículum vitae Latinoamericano y del Caribe (CvLac) y se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para la elección de los participantes:

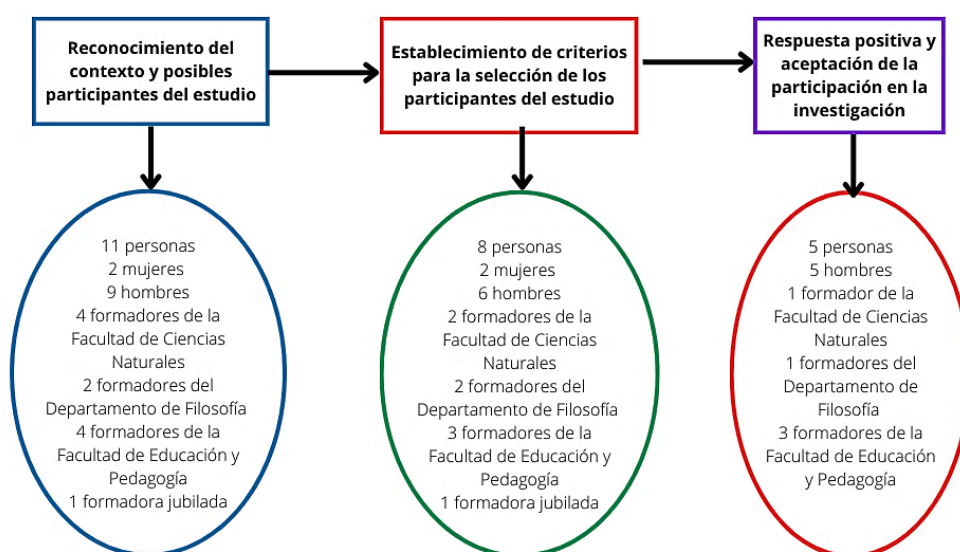
a) tener relación con la formación de profesores de Física (Licenciatura en Ciencias Naturales, Licenciatura en Matemáticas y Física, Maestría en Educación énfasis en enseñanza de las Ciencias),

b) tener formación en un programa de Física o Licenciatura en Física y afines

c) áreas de actuación en la docencia diversas y asociadas a la formación inicial de profesores de Física (Didáctica de la Física, Física, Historia y Filosofía de las Ciencias, entre otras).

A continuación, se presenta un esquema donde se muestra el proceso de elección y participación de los formadores. (Se está usando “formadores” en masculino, porque las personas que aceptaron participar de la investigación utilizan el pronombre “él”).

Figura 25 – Proceso de selección de los participantes del estudio

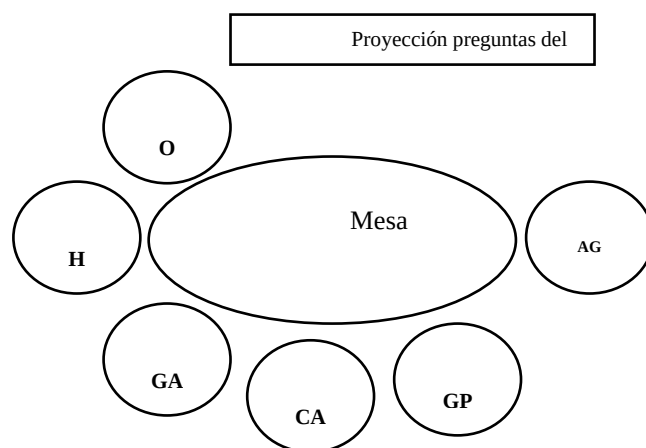


Fuente: Elaboración propia.

En el grupo de discusión se utilizó videograbación y grabación de voz, así como toma de notas de la investigadora y se desarrolló de manera presencial en un espacio de la Universidad, específicamente en la Facultad de Educación. Los formadores brindaron consentimiento informado para participar y grabar el diálogo. Para nombrar a los formadores y la investigadora, se utilizarán letras mayúsculas que indican la primera letra de sus nombres, respetando la confidencialidad y el sigilo de los participantes de la investigación. A

continuación, se esquematiza la organización de los formadores alrededor de la mesa de diálogo haciendo uso de esta notación: HO, NH, EGA, LCA, GGP y la investigadora LAG.

Figura 26 - Distribución de los formadores e investigadora en la mesa de diálogo

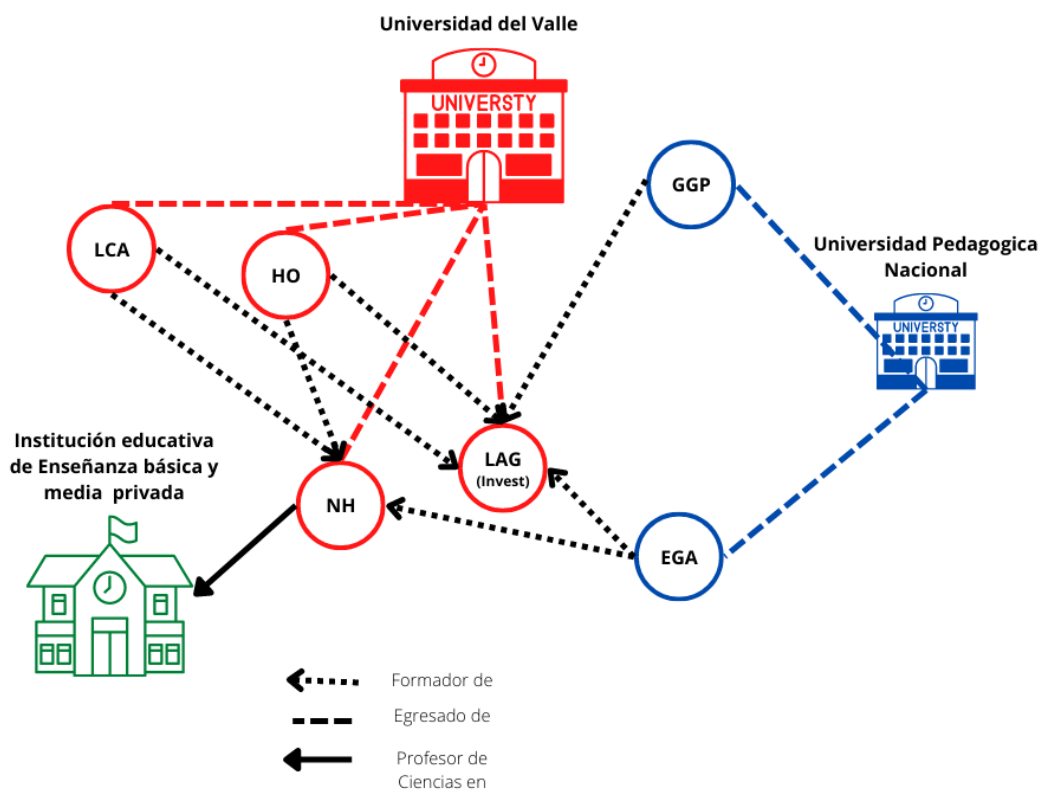


Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Condiciones de producción – La red académica de los formadores de profesores de Ciencias Naturales.

El grupo de formadores de profesores de Física constituido tienen diferentes conexiones a lo largo de su trayectoria profesional y formativa en la educación superior. Por un lado, los formadores EGA y GGP comparten la misma formación inicial en Licenciatura en Física en la Universidad Pedagógica Nacional, pero tienen diferentes enfoques en sus estudios de posgrado: Didáctica de las Ciencias y Filosofía de la Ciencia respectivamente. Así mismo, los formadores LCA y NH, así como la investigadora LAG, son egresados del programa académico de Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad del Valle. El formador HO también egresó de la Universidad del Valle, de dos programas: Física e Ingeniería Mecánica. Por otro lado, los cinco formadores y la investigadora son profesores y/o investigadores de la Universidad del Valle y han tenido incidencia en la formación inicial de profesores de Ciencias Naturales y Física en los programas de Licenciatura en Matemáticas y Física y/o Licenciatura en Ciencias Naturales. Otra característica de este grupo es que los formadores LCA, HO, EGA y GGP han intervenido en la formación inicial y/o posgradual de NH y la investigadora LAG. Por último, el formador NH a su vez es profesor de Física en una institución educativa de enseñanza básica y media privada, por lo cual está en la interfaz entre escuela y Universidad. A continuación, se muestra la red de instituciones y relaciones entre los formadores y la entrevistadora que participan del grupo de discusión.

Figura 27 – Red de instituciones y relaciones entre los formadores y la entrevistadora que participan del grupo de discusión.



Fuente: Elaboración propia.

Estas características determinan las condiciones de producción del discurso, desde un sentido estricto y constituyen los sentidos que se movilizan en el diálogo, así como influyen los turnos de habla, las interacciones y las réplicas. Es importante notar que las instituciones universitarias en las que tienen lugar en primera instancia su práctica y desarrollo profesional y después, su formación inicial determina una proximidad y relación entre los formadores. Esto se evidencia en la situación en que HO llega al espacio de diálogo, saluda a EGA, NH con quienes se ha reunido en varias ocasiones para la construcción del proyecto de la Licenciatura en Física, saluda a LAG y a los formadores LCA y GGP.

LAG → (Dirigiéndose a todos): ¿todos conocen al profesor HO?

GGP: Si, pero claro, claro- EGA: Él nos ha acompañado en el proyecto de la Licenciatura.

LCA: Si hombre, HO, con mucho gusto en conocerte

Por otro lado, como menciona Vaillant (2002) las formaciones y espacios de práctica de los formadores en Latinoamérica son variados, por lo cual se hace necesario mostrar la formación e intereses de investigación de los formadores participantes del diálogo para comprender la filiación a ciertas redes de sentido. A continuación, se presenta la formación en

posgrado y los intereses o líneas de investigación que los formadores reportan en su *currículo vitae*.

Cuadro 14 – Formación en posgrado y los intereses y/o líneas de investigación de los formadores de profesores de Física

SUJETO	Formación pregrado	Formación posgrado	Experiencia docencia universitaria/otros niveles educativos	Intereses y/o líneas de investigación
EGA	Licenciatura en Física (1984 – 1992)	• Maestría en Docencia de la Física (1993 – 1999, UPN-Bogotá Colombia) • Maestría en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales (2006 – 2007, UBA, Barcelona- España) • Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2007 – 2009, UBA, Barcelona- España)	• 24 años- docencia universitaria • 8 años- educación básica y media	• Practicas experimentales y libros de texto en Ciencias Naturales, • Historia, Filosofía y enseñanza de las Ciencias • Relación entre el conocimiento común y el conocimiento científico: historia y enseñanza de las Ciencias. • Uso de nuevas tecnologías en la enseñanza de las Ciencias. • La relación entre la teoría y la práctica en las ciencias experimentales. • Desarrollo curricular en las Ciencias Naturales.
SUJETO	Formación pregrado	Formación posgrado	Experiencia docencia universitaria/otros niveles educativos	Intereses y/o líneas de investigación
GGP	Licenciatura En Física y Matemáticas 1977 - 1980, UPN, Bogotá, Colombia)	• Maestría en Filosofía (1993 – 1998, Pontifica Universidad Javeriana- Colombia) • Maestría en docencia de la Física (1983- 1988, UPN, Bogotá, Colombia) • Doctorado en Filosofía (1998– 2003, Universidad Complutense de Madrid-España)	34 años- docencia universitaria 6 años- docencia enseñanza secundaria	• Enfoque semántico de las teorías • Interpretación de la mecánica cuántica • Cuestiones metafísicas de la Ciencia • Filosofía de la mente • Enseñanza de las Ciencias Naturales • Filosofía de la ciencia • Lógica

SUJETO	Formación pregrado	Formación posgrado	Experiencia docencia universitaria/otros niveles educativos	Intereses y/o líneas de investigación
LCA	Licenciatura En Matemáticas y Física (1964-1968, Universidad del Valle, Cali, Colombia) Licenciado en Matemáticas, 1970, Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia)	• Especialización Lógica y Epistemología (1975- 1976, Academia Polaca de Ciencias Instituto de Historia de Las Ciencias, Varsovia) • Maestría Historia y Enseñanza de Las Matemáticas (1976 – 1977, Des Hautes Etudes En Sciences Sociales, Paris) • Doctorado en Historia y Enseñanza de las Matemáticas (1977-1980, Paris) • Posdoctorado Historia de las Ciencias (1987-1988, Centro de Estudios Históricos-CSIC, Madrid)	• 34 años- docencia universitaria	• Historia de la Topología de Conjuntos, • Matemáticas, Cultura y Sociedad en Colombia • Newton en la Nueva Granada • Generalización de los Espacios Abstractos • Formación y desarrollo de la cultura científica en Colombia • Historia y Educación Matemática.
NH	Licenciatura en Matemáticas y Física (2004-2011, Universidad del Valle, Cali-Colombia) Tecnología electrónica (1998-2001, Palmira-Colombia)	• Maestría en Educación énfasis en enseñanza de las Ciencias Naturales (2011-2016, Universidad del Valle, Cali- Colombia) • Estudiante de doctorado en Educação para a Ciência (2020- Actualmente, Bauru, Brasil)	• 7 años- docencia universitaria • 9 años- docencia enseñanza secundaria	• Diversidad cultural y enseñanza de las Ciencias
HO	Física Ingeniería Mecánica (1974-1983, Universidad del Valle, Cali-Colombia)	• Doctoral Degree in the Life Sciences (Universität Karlsruhe Universität München 1988-1993, Munich, Alemania) • Maestría en Física (1985- 1986, Universidad del Valle)	• 28 años- docencia universitaria	• Física Teórica

Fuente: Elaboración propia con datos y resaltado propio. Tomados de <https://scienti.minciencias.gov.co/ciencia-war/busquedaGruposGeneral.do?buscar=buscar>.

Teniendo en cuenta los datos del cuadro anterior, se puede inferir que cuatro de los cinco formadores tienen una experiencia en docencia universitaria superior a veinte años. Así mismo,

tres de los cinco tienen experiencia en docencia secundaria, que al parecer se desarrolló paralelo a los inicios en la docencia universitaria. Tres de los cinco tienen dentro de sus intereses de investigación temas relacionados a la HFSC, lo cual se evidencia en sus producciones de investigación y/o tesis de maestría y doctorado.

5.1.4 Condiciones de producción de los análisis- LAG.

En el diálogo que a continuación se desarrolla entre formadores de profesores de Ciencias-Física, participe en calidad de investigadora y es posterior a una serie de encuentros para la construcción del programa de Licenciatura en Física, en el que participé en calidad de coinvestigadora. Tres de los cinco investigadores (HO, EGA, GGP) fueron formadores en mi proceso de formación inicial y de maestría, uno de ellos fue mi colega de cohorte (NH). Por tanto, a continuación, presento brevemente el sentido amplio en el que se enmarcan mis análisis.

Mi formación inicial fue en Cali- Colombia y transcurrió en un programa que tenía la denominación de “Licenciatura en Matemáticas y Física” en una Universidad pública del suroccidente colombiano. En la maestría en Enseñanza de las Ciencias, en la misma Universidad, investigue en la línea de HFSC en la EC de la mano de EGA, quien ha desarrollado trabajos en la perspectiva sociocultural de las Ciencias y su enseñanza. Él me presentó los trabajos de la profesora María Mercedes Ayala, entre otros, sobre los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes que ella desarrolló en el grupo Física y Cultura de la Universidad Pedagógica Nacional. En maestría, mis intereses de investigación giraron en torno a los fenómenos ópticos y el papel del discurso y la ideología en la formación de profesores de Ciencias Naturales.

Participé como coinvestigadora en el equipo que desarrollo el proceso para la creación del nuevo programa de formación inicial de profesores de Física en Colombia, liderado por EGA y con apoyo de las áreas de Educación Matemática y Enseñanza de las Ciencias de la misma universidad. En ese entonces, yo, LAG, era una formadora novel, con apenas poco más de tres años de experiencia en la docencia universitaria y la formación inicial de profesores de Ciencias Naturales, así como seis en la enseñanza de las matemáticas y Física en el ciclo medio, en colegios de educación privada. Iniciamos labores en el 2017 con reuniones de un equipo base que procuró determinar los principios filosóficos del programa.

En el 2018, inicié el doctorado en Educación en Ciencias en la UNESP y seguí trabajando en la constitución del nuevo programa de formación que se materializó a través de la resolución académica 060 del 2021. Durante todo este proceso acompañé y participe

activamente en las discusiones con los formadores de profesores y, por tanto, reconocí la necesidad de comprender quien es el sujeto formador de profesores de Física. En estas discusiones en las que intervenían equipos de profesores universitarios de diferentes unidades académicas, los diálogos usualmente se establecían entre contenidos, lo que representaba un espacio común entre la diversidad de formaciones e intereses que se pusieron en juego en la constitución del programa de Licenciatura en Física.

5.2 ¿Cómo nos formaron en Óptica? Reconociendo las condiciones sociohistóricas en cada historia de vida académica

El corpus de análisis que a continuación se analiza, corresponden a partes del diálogo entre los formadores de profesores sobre la enseñanza de la óptica en la FIPF. Este corpus se constituyó en la búsqueda de comprender los imaginarios de los formadores sobre enseñanza de la óptica al activar la memoria sobre su formación inicial en un programa de formación de profesores de Física en Colombia. Según Orlandi (2006), la delimitación del corpus no obedece a criterios empíricos sino teóricos, esto es, “decidir lo que forma parte del corpus ya es decidir sobre las propiedades discursivas” (p. 34).

En ese orden de ideas, Almeida (2007) menciona que

[...] pensarmos a análise de sequências verbais, incluindo aquelas obtidas em entrevistas como processos discursivos a serem analisados tendo em conta os aportes da análise de discurso mencionados, implica em buscar determinar as condições de produção dos dizeres e os efeitos de sentido produzidos, ou seja, quem disse, para quem disse, quando disse e onde disse, considerando que as posições a serem analisadas são imaginárias e não as concretas imediata (ALMEIDA, 2007, p. 123)

Una de las condiciones de producción de los discursos de los formadores en esta primera parte está asociada a una regla implícita de turnarse la palabra para responder la primera pregunta. Por tanto, en cada una de las intervenciones solo se escuchaba una voz y algunas expresiones que demarcaban el seguimiento del diálogo por parte de los otros formadores. Esto pudo deberse a que la primera pregunta propone hablar desde una experiencia personal de formación y al ocurrir en programas, tiempos y condiciones sociohistóricas diferentes, se estableció como regla implícita, no intervenir en el relato del otro.

Todos los recortes de habla que componen el corpus del análisis hacen parte del diálogo entre formadores de profesores que fue filmado y transcrito en el apéndice A de esta tesis, por tanto, solo se indicará las iniciales del formador que habla.

El diálogo inicia con la siguiente pregunta

LAG: [...] Entonces, les propongo que empecemos la discusión, recordando un poco desde nuestra formación universitaria inicial, que la mayoría tenemos formación en licenciatura en matemática y Física o licenciatura en Física, ¿cómo nos formaron en este tema de la óptica? y desde allí intentemos responder, entonces, ya desde nuestra experiencia como docentes, ¿qué debería saber un profesor de Física para enseñar óptica? (LAG-investigadora).

5.2.1 Las formaciones imaginarias de NH sobre enseñanza de la Óptica - fue tan poca Física.

El primero en hacer una intervención en el sentido de responder el cuestionamiento es NH. Él menciona:

NH: A mi inmediatamente la pregunta me llevo fue a mi bachillerato, lo recordé porque, pues, fue una Física tan poca, realmente un colegio público, entonces, recuerdo tanto, que el profesor lo único que nos hizo sobre óptica fue una cubeta de ondas y ver la reflexión y que dibujáramos la onda y ya, y entonces eso era ya lo de ondas, me acuerdo porque, para mí la Física en el colegio fue casi lo que determinó porque yo entraba a estudiar a la licenciatura en matemáticas, o sea no me motivo para estudiar Física, y cuando ingreso aquí a Matemáticas y Física, pues me encuentro con esa situación de que yo ahora voy a estudiar Física, si es que yo no sé nada de Física, yo no vi nada de Física en el colegio (NH).

En esta producción discursiva es posible ver la anticipación de NH que problematiza la enseñanza de la óptica desde la enseñanza secundaria, a partir de sus experiencias como estudiante en este nivel, que se puede interpretar, estuvieron basadas en una experimentación para mostrar o ejemplificar la teoría, pues con la cubeta de ondas, usualmente se representan los fenómenos de propagación de ondas en dos dimensiones, la interferencia constructiva y destructiva entre ondas y la difracción, esto es, en la experiencia de enseñanza de la óptica en el nivel de enseñanza secundaria (15 a 18 años), predominó la óptica geométrica.

También llama la atención la expresión “NH: fue una Física tan poca, realmente un colegio público”, que se pueden interpretar que trae a la memoria el ser estudiante de un colegio público, que, en Colombia, presentan dificultades para el desarrollo del año lectivo, poca financiación e infraestructura, entre muchos otros problemas, lo que hace que se vea como de menor calidad, por tanto, la asociación: *una Física tan poca* pareciera estar justificada por las dificultades que se presentan en un colegio público.

En la frase: “NH: me recuerdo porque para mí la Física en el colegio fue casi lo que determinó porque yo entraba a estudiar a la licenciatura en matemáticas, o sea no me motivo para estudiar Física”, se puede interpretar como una forma de polemizar y mostrar las implicaciones de una enseñanza de la Física que anteriormente refiere como “poca Física”

La expresión “NH: si es que yo no sé nada de Física” puede interpretarse como una formación imaginaria en la que se explicita lo que cree que se espera de él al entrar a un curso de formación en Física, esto se podría reformular como: *los que saben Física o mucha Física son los que pueden estudiar Física*. Así, los que no saben Física, tendrán más dificultades para aprender Física, estableciendo un prerrequisito de formación desde la educación secundaria.

En la afirmación:

NH: [...] pero afortunadamente los cursos de Física en la universidad permitieron digamos, ponernos a pensar un poco, a conectarnos y a reflexionar sobre los fenómenos, hasta, no, no todos los cursos infortunadamente (NH).

Se pueden ver las relaciones de fuerza en la posición, primero, de estudiante con el plural: “ponernos a pensar un poco, a conectarnos”, que se puede interpretar como los futuros profesores de Matemáticas y Física, y luego como profesor universitario, pues la expresión: hasta que corta y reformula, ocultando un posible alcance o limite, que se marca en la expresión no todos los cursos infortunadamente. En el lugar de habla de estudiante-futuro profesor, NH menciona:

NH: [...] Ya en términos de esa Física, donde vimos, que fue en la Física 4, Física fundamental 4, donde nosotros vimos los fenómenos ondulatorios, que se llamaba en ese momento, realmente un tema muy de, de la formulación matemática, óptica geométrica, entonces lo que recuerdo, (NH).

Engloba lo presentado en el curso de Física fundamental IV, que, en la estructura curricular del programa de Licenciatura en Matemáticas y Física, se ubicaba en la línea de formación en Física, en el ciclo de profesionalización en el V semestre. La experimentación estaba en otro curso paralelo a Física Fundamental IV, el Laboratorio de Física fundamental IV, es decir, había una separación a través de la organización curricular, de la teoría y la práctica experimental, en donde el curso teórico tenía 4 créditos y por tanto más carga horaria vs el laboratorio, con la mitad de los créditos.

En la lista de temas que NH recuerda nuevamente aparece la óptica geométrica y los fenómenos ondulatorios, esto es:

NH: [...] y era muy de, por ejemplo, los lentes y que pasaba en los procesos de refracción, que poder calcular el ángulo, los fenómenos ondulatorios, reflexión, eso sí, digamos, los problemas clásicos de la ley de Snell, (NH).

Aunque el curso de Física fundamental IV también abordaba aspectos de la relatividad, estos no aparecen mencionados como problemas asociados a la luz y la Óptica.

Esto se infiere de:

NH: [...] además, porque es un curso que recoge toda la óptica, algunos aspectos de la acústica y creo que aspectos de Física moderna, en ese mismo curso, entonces creo que mucho contenido para un semestre (NH).

La expresión “formalización” en esta materialidad discursiva de NH:

NH: [...] yo recuerdo es que era muy desde los problemas de formalización, para mí era casi que problemas de matemáticas, si, o sea, poca reflexión sobre el fenómeno, eso sí lo recuerdo mucho en el profe, porque era casi que resolver problemas y uno resolvía ecuaciones, pero poca reflexión sobre el fenómeno (NH).

Se interpreta un desplazamiento del concepto de formalización que ha sido trabajado en la Universidad Pedagógica Nacional con los trabajos de Ayala, Garzón y Malagón (2007) y que es definido como:

formalizar es un proceso del pensamiento a través del cual se da forma a los propios modos “internos” de reconocer y elaborar el mundo y a los aspectos “externos” según los cuales el acaecer del mundo puede ser reconocido. Formalizar es pues una parte esencial del proceso de construcción de conocimiento, caracterizado ante todo por la elaboración y uso de estrategias según las cuales los “diversos modos de mirar” son adaptados continuamente a aspectos de una realidad que es a su vez organizada de acuerdo con estos modos de conocer (AYALA; GARZÓN; MALAGÓN, 2007, p. 44).

Así, se puede interpretar, que los problemas de formalización a los que se refiere NH, es un cuestionamiento a una enseñanza enfocada en las entidades matemática “vacío de contenido, y otro cuando se le ha dotado de significado físico y ésta se convierte en un enunciado sobre el fenómeno físico analizado” (AYALA; GARZÓN; MALAGÓN, 2007, p. 52). Así mismo, se puede interpretar una paráfrasis con respecto a la expresión “poca reflexión sobre el fenómeno”, que es reiterada en dos ocasiones por NH y que se afilia a las relaciones de sentido sobre construcción de fenomenologías, desde una perspectiva fenomenológica en la Física y su enseñanza.

Esto es:

Contrario a lo que afirman las clásicas perspectivas deductiva e inductiva, desde esta visión del mundo (perspectiva fenomenológica del mundo físico) el experimento no interviene en el desarrollo del conocimiento científico como un simple verificador de los enunciados teóricos o como la única fuente de conocimiento a partir de la cual, por vía de la inducción, se obtienen las diferentes teorías. Desde esta perspectiva, el experimento no es trivializado como un mero elemento subsidiario de la teoría, sino que estas dos dimensiones –experimentación y teorización– son asumidas como complementarias y constitutivas en los procesos de producción científica (SÁNCHEZ; MANRIQUE; OSORIO, 2019, p. 48).

Así, en las formaciones discursivas de NH se puede interpretar relaciones de sentido a través de paráfrasis y polisemia con los planteamientos del grupo de Física y Cultura de la Universidad Pedagógica Nacional, del que también hicieron parte los formadores EGA y GGP,

que ha desarrollado trabajos en el marco de la perspectiva sociocultural asociados a la construcción de fenomenologías y los procesos de formalización y enseñanza de la Física.

5.2.2 Las formaciones imaginarias de GGP sobre Óptica: ¿el término Óptica recoge el tema de la naturaleza de la luz?

El segundo formador en tomar el turno de habla fue GGP. En la primera parte se puede interpretar como una relación de fuerza, en la que GGP se proyecta en el lugar de profesor, sin embargo, al concordar con lo planteado por NH, lo hace desde su experiencia como estudiante universitario que se forma como futuro profesor de Física. Esto es:

GGP: Yo si me voy a remitir un poco a la parte de profesional, digámoslo, y estoy completamente de acuerdo con lo que plantea el compañero NH, digamos, que, pues se ven una multitud de cursos a lo largo de los cinco años de uno, de carrera, digamos que tienen que ver con óptica (GGP).

La interrupción que hace sobre su relato de experiencia se da para problematizar el término óptica. GGP menciona:

GGP: [...] yo si quisiera hacer como un paréntesis ahí interesante, digamos, que de pronto tú (LAG), [...] si el termino de óptica realmente recoge el tema de la naturaleza de la luz, o sea, el concepto de la luz en toda su, o más bien está haciendo énfasis, digamos, en cuestiones más de carácter, digamos, de los instrumentos, digamos, que tienen que ver con la luz (GGP).

Esto puede estar relacionado a sus estudios sobre el enfoque semántico de las teorías en el marco de la filosofía del lenguaje en el que ha analizado los enfoques semántico y sintáctico de las teorías científicas. Así, el cuestionamiento que hace podría ser reformulado en términos de ¿qué expresión podría contener o significar todas las cuestiones asociadas a la luz?, en su intervención, sigue elaborando el desplazamiento de sentido de la expresión “Óptica”, al reiterar en dos ocasiones el énfasis en la “naturaleza de la luz”:

GGP: [...] digamos, si realmente, digamos, la óptica, digamos, tiene que ocuparse, el foco central. Digamos, de la óptica, tiene que ver con la naturaleza de la luz. Es una pregunta que me surge ahorita a mí en este momento (GGP).

GGP: [...] yo sí creo que la óptica, o sea entender de óptica, es entender, tratar de polemizar el problema de la naturaleza de la luz, o sea, qué es eso de la luz y cómo comprender, digamos, fenómenos básicos, los fenómenos que ha habido en eso (GGP).

Esta reelaboración, es un deslizamiento de sentido en la búsqueda de una “esencia” o “núcleo” de las cuestiones asociadas a la luz, pues también había cuestionado el término “óptica” asociado a instrumentos que tienen que ver con la luz y su reelaboración es dirigida hacia la “naturaleza de la luz”. Esta última expresión remite a las relaciones de sentido sobre la dualidad de la luz: el carácter corpuscular y ondulatorio de la luz, mientras que “óptica” se inscribe en relaciones de sentido de la óptica geométrica. Como menciona Orlandi (2006): Por

la naturaleza incompleta del sujeto, de los sentidos, del lenguaje (de lo simbólico) aunque todo sentido se afilie a una red de constitución, él puede ser un dislocamiento en esa red (p. 48). Así, en su posición como filósofo de la Ciencia, indaga y pone en marcha la polisemia para comprobar los límites del sentido que evoca los términos “óptica” y “naturaleza de la luz”

Como GGP hace notar, la luz en la relatividad y la mecánica cuántica aparece como una “cuestión conceptual”. Esto podría ser interpretado como una oposición entre teoría y práctica matemática, esto es, entre conceptualización y resolución de problemas matemáticos, pero también como los campos en donde es posible comprender el problema de la luz con mayor profundidad a lo cual es posible formular la pregunta: ¿Por qué estas cuestiones conceptuales de la luz y/o asociadas a la naturaleza de la luz no son tan evidentes en la óptica geométrica? Esto se puede ver en esta parte de la formación discursiva.

GGP: [...] pues, entonces, si había un énfasis completamente digamos, en la parte de la formulación y resolución de problemas y más que entender digamos, el problema de la luz, y prácticamente uno en el último semestre de formación en Física, uno veía mecánica cuántica y obviamente usted en mecánica cuántica está obligado, y bueno teoría de la relatividad, está obligado a hablar del problema de la luz, y obviamente pues hacer unas introducciones un poco conceptuales y eso, sobre eso pues porque ambas teorías tiene que ver con la luz, pero obviamente eran unos asuntos obligados allí, después se pasaba a la parte matemática y se volvía uno muy experto digamos, realmente en resolución de problemas, incluso de mecánica cuántica y eso de teoría de la relatividad, pero, pero, no, digamos, la parte, digamos, conceptual, en sí misma, quedaba muy debilitada... (GGP).

GGP: [...] y ya después nuevamente al final de la carrera es que uno entiende digamos todo el problema de la importancia de la luz. La luz es definitiva en la comprensión digamos del fenómeno de la luz... (GGP).

También se puede interpretar que poco a poco se coincide en los cuestionamientos a la enseñanza de la óptica, esto es, la enseñanza de la óptica enfocada a la resolución de problemas matemáticos no es suficiente para comprender el problema de la luz.

La formación discursiva de GGP se enmarca en los decires de la filosofía de la Ciencia y la Física, con aproximaciones a la enseñanza. Sin embargo, el problema de la luz no es referido a una comprensión de los fenómenos de la cotidianidad, o fenómenos de la luz que podrían movilizar sentidos sobre la luz o aplicaciones, sino a su funcionamiento como teoría científica en la Ciencia, esto puede interpretarse en

GGP: [...] la luz es definitiva dentro de la Física, sobre todo, pues, porque tiene que ver con los fundamentos de la teoría especial de la relatividad y con la mecánica cuántica. (GGP, Grupo de discusión).

5.2.3 Las formaciones imaginarias de LCA: La episteme de la óptica era de una naturaleza diferente a esta episteme de la mecánica.

El tercer formador en tomar el turno de la palabra fue LCA. Su primera intervención es una síntesis de lo propuesto por los anteriores colegas utilizando expresiones como “contenidos”, “presentación curricular” y “planes de estudio”: *“LCA: Yo, comparto, comparto lo que se ha planteado sobre los contenidos y su presentación curricular en los planes de estudio, sobre todo de la universidad”* que puede ser interpretado como una relación de fuerza desde su posición como formador de profesores, alejándose de la discusión epistemológica y semántica que GGP dejó planteada en su intervención anterior desde la filosofía de la Ciencia. Posteriormente se puede inferir una anticipación en su discurso, al realizar un desplazamiento hacia la producción de sentido desde las matemáticas en donde se enfoca en la modelación, modelar/modelo.

LCA: [...] yo quisiera agregarle, como haciendo memoria [...]. A mí me quedaron de esas cosas, la modelación cartesiana de los problemas ópticos, todo esto pues de la óptica geométrica, eso es un asunto que creo yo, impactó en la formación de uno, quedo allí grabado, como una, digamos, un momento en el cual uno ve que ahí hay un cierto tipo de matematizaciones, vía la geometría de fenómenos, de representación en modelos de fenómenos, entonces como un punto clave para la formación, modelar, es decir, matematizar fenómenos por la vía pues de la geometría, lo euclidiano aquí presente, fundamentalmente (LCA).

Esta anticipación está en la vía de reconocer, desde las discusiones en filosofía de la Ciencia, y desde el enfoque semanticista (IZQUIERDO; ADÚRIZ-BRAVO, 2005) el papel fundamental de los modelos y la modelización. Sin embargo, también parece plantear una defensa del “uso de las matemáticas en la Física”, pues, las anteriores intervenciones de NH y GGP coincidían en que la Física que habían aprendido se enfocaba en resolución de problemas y ejercitación matemática. Por tanto, se puede interpretar como una forma de justificar la relación entre Matemáticas y Física a través de la modelación de los fenómenos ópticos.

Asimismo, en el habla de LCA aparece como epítome la óptica geométrica y el trabajo de Newton, así como una forma de traer la discusión filosófica sobre el conocer y las epistemes asociadas a los métodos inductivo y deductivo. Esto puede interpretarse en la expresión “*episteme diferente*” en:

LCA: [...] Otra cosa que a mí me impactó, o que creo que me ha quedado de eso, es la distinción entre la episteme de lo, estoy hablando en términos modernos, obviamente así no se dio, pero digo yo, como con el paso del tiempo veo yo, que eso que se presentó tenía esa influencia en uno, [...] que esa episteme de la óptica era de una naturaleza diferente a esta episteme por ejemplo de la Física newtoniana de la mecánica, que ahí habían dos cosas, que en el caso del propio Newton eso se diferenciaba, una que apuntaba a fenómenos, laboratorios de ondas, que seguía desde Newton hasta Huygens y todos esos sistemas de ondas ahí, y otra que tenía que

ver con problemas de la gravitación, leyes universales, ya no tan ligado con fenómenos de la experiencia misma, y que óptica remitía a experiencia, y mecánica newtoniana remitía a matematizaciones ya, de un grado avanzado, no geométricos, no meramente euclidianos. (LCA).

LCA: [...] Que te diría, lo que dice GGP, la naturaleza de la luz eso es una problemática sí que estaba presente ahí, la dualidad, (LCA).

En esta producción discursiva es posible interpretar que continua el cuestionamiento que GGP planteó sobre la “esencia” o el “foco” de la óptica, que al parecer estaría asociada a una Ciencia más cercana a la experiencia y/o posible de experimentar. Al tomar el caso de Newton y la óptica newtoniana, en donde se presenta una mecánica formalizada desde la matematización, parece justificar la existencia de dos epistemes diferentes, que posteriormente va a llevarlo a problematizar el currículo y su presentación en la enseñanza de la óptica. Esto es:

LCA: [...] ya otra cosa, luego con el tiempo pues uno ya va entendiendo que como historiador y tal, que esas dos si son epistemes, pero la manera en que eso aparecía en el currículo diferenciaba dos naturalezas de objetos y de presentaciones distintas, [...] o sea, que yo creo que ese punto de vista ya aparece de alguna manera condensado en la naturaleza de los cursos que le enseñaron a uno (LCA).

Al referirse al proyecto de reforma de la Enseñanza de las Ciencias y matemáticas que vino de Estados Unidos a través de los manuales de SMSG, como se muestra a continuación, se puede interpretar como un dislocamiento al lugar de historiador de la educación científica en Colombia.

LCA: [...] Por cierto, hay ... una Física que nos enseñaron que tiene mucho que ver, con el multitaller de Ramiro Tobón en la Universidad del Valle, la SMSG. Ese libro de la SMSG, de la Física, [...] eso era propio de una nueva reforma de la enseñanza de las Ciencias: Física y Matemáticas, que venía de Estados Unidos, y que pasó por el multitaller, que promovió eso, y además esa era muy experimental y en el caso de óptica, se construyeron en el multitaller los instrumentos didácticos, para hacer los experimentos, entonces acá se nos daban esos cursos, con laboratorios diseñados y con instrumental hecho en la propia Universidad, que luego el propio multitaller distribuía eso en municipios del país, eso fue extremadamente importante capítulo de nuestra historia de la enseñanza de la Física. (LCA).

El School Mathematics Study Group⁴⁹ fue liderado por Edward G. Begle desde 1914 hasta 1978, y tuvo su mayor impacto en la crisis de Sputnik, periodo en el que creó e implemento una serie de reformas a la educación matemática en los niveles de primaria y secundaria llamada “nueva matemática” a través de publicaciones de libros didácticos. Este periodo coincide con el que estuvo LCA formándose como futuro profesor de Matemáticas y Física en la Universidad del Valle. Este decir se relaciona con la formación discursiva en la que el foco en la experimentación como una característica resaltable de la óptica, particularmente

⁴⁹ Véase https://txarchives.org/utcah/finding_aids/00284.xml. Consultado el 04 abr. 2022.

de la geometría y que aparece reiteradas veces, como una repetición formal, que Orlandi (2006) define como otro modo de decir lo mismo (p. 51).

LCA: Eso por otro lado, algo que también me quedo a mí de esa época, era, no tanto el experimento en sí, el experimento crucial digamos de... de la refracción, del rayo de luz pues por el prisma y a ver el espectro de la luz, eso ya no lo veíamos como experiencia porque era difícilísimo hacerlo, pero uno lo veía en un "film", entonces se incorporaban videos a los cursos en donde uno veía como es que eso se había hecho en otras partes, con cuidado y bien elaborado y podía uno ver los grados de refracción con las incidencias de los ángulos y ver que en ese espectro había esa vaina, eso a mí me impactó, y eso creo que no solo a mí, a muchos nos impactó, llevar hasta ese punto de experimentación visual ese aspecto pues de lo crucial, luego es que uno entendería lo que significó, porque experimento crucial, eso uno no lo sabía, pero luego ya se entendería muy bien, ese carácter de experimento crucial. (LCA).

Por último, se puede interpretar que emergen relaciones de sentido y de fuerza en la formación discursiva en que LCA menciona un libro que es una traducción comentada del trabajo de Voltaire, titulado: Voltaire. Elementos de la filosofía de Newton (1996) en las que nuevamente se posiciona como historiador-filósofo de las Ciencias y en donde marca el tiempo que ha dedicado a esa reflexión sobre la óptica en su desarrollo profesional como historiador de las Ciencias y las Matemáticas, por lo cual establece un argumento de autoridad desde la investigación.

LCA: [...]mire como en el caso personal esa vaina a mí me grabo mucho, esta ese librito de Voltaire, que hicimos, la traducción del libro de Voltaire, en donde nosotros (Antonio de la Fuente y yo), le dedicamos un tiempo muy fuerte, un espacio muy fuerte a pensar las polémicas, le dedicamos un espacio fuerte a debatir lo que eran para nosotros, o al menos para mí, dudas a nivel de la formación del pregrado, ese carácter dual de la luz y a rastrear que esa dualidad esta hasta presente en el propio Newton (LCA).

5.2.4 Las formaciones imaginarias de EGA: La episteme de la óptica era de una naturaleza diferente a esta episteme de la mecánica.

El último formador en intervenir sobre la primera pregunta fue EGA. En la primera parte de su intervención, en contraste con GGP y LCA, que mencionaron en repetidas ocasiones que era difícil traer a la memoria esa época de estudiantes, EGA detalla la ubicación del curso dedicado a los aspectos de óptica en su formación como Licenciado en Física:

EGA: Bueno, en mi caso, yo sí creo que tengo una experiencia muy cercana a la pregunta, porque, yo vi un curso que se llamaba exactamente óptica, ese curso lo daban en cuarto semestre, pero porque tiene una especial, digamos, significado en mi recuerdo, y es porque ese año estrenamos profesor allá y luego un profesor, [...] venía de Rusia y no hablaba muy bien el español y luego a dictarnos óptica, entonces la experiencia con óptica fue un poco, complicada, porque fue una óptica en donde la única comunicación era de matemática, entonces, como uno no entiende el elemento matemático, entonces no podía preguntar, porque tampoco el señor no le daba a uno entender, entonces básicamente basaba él en el libro de [...], pero, nosotros dialogábamos con el libro para poder entender lo que decía el profesor, porque él se basaba fundamentalmente en el libro, y, pues fue una experiencia allí un poco triste [...], sin embargo, la experiencia permitió que al siguiente año, al

siguiente año, contrataran una colega coreana, que volvió a dar la óptica, pero esta colega coreana dio la óptica, pero también la puso en modalidad de electiva, entonces yo entré a tomar la óptica con ella, en modalidad de electiva, para mirar si había podido comprender todo lo que me habían dado de óptica, pero el efecto fue exactamente lo contrario, resulta que ella llegó con la idea de, claro, como estaba el referente, de que el colega [...] hacía una óptica muy abstracta, en términos de unos formalismos, ella se fue para el otro lado, entonces era una óptica de experimentos, era la óptica donde podíamos mirar eso, de que uno ve una vela aquí, 40 veces, entonces, y que se inclina, entonces se ve la vela hacia el infinito para un lado, el infinito para el otro, entonces, era jugando con eso, recreo varias veces experiencias con el prisma. (EGA).

Es posible interpretar en la formación discursiva de EGA que se contraponen dos formas de enseñar la óptica y que han venido demarcándose a lo largo del diálogo desde la intervención de NH: por un lado, una óptica que tiene foco en el lenguaje y los modelos matemáticos para la resolución de problemas y otra enseñanza de la óptica que prioriza la experimentación como comprobación de la teoría. En los dos casos es posible ver que la teoría está por encima de la experimentación y esta es subsidiaria y dependiente de la primera para generar sentidos.

Así mismo, trae a la discusión otros experimentos que están en la frontera de la óptica ondulatoria y la mecánica cuántica, como es el experimento de la doble difracción, que se interpreta como “el experimento de la doble rendija”

EGA: Pero una que me impactó a mí fue el de la doble difracción, esa experiencia, primero, porque es raro verla, y segundo, porque acababan de comprar equipos. Entonces tenían el láser y tenían el famoso espejo de (yo no me acuerdo el nombre), era un espejo ahí todo extraño, pero el efecto era bellissimo, entonces, vivía uno era del efecto, porque tampoco entendía [...] (EGA).

Se puede interpretar la anticipación con respecto al discurso de GGP asociado al problema de la luz a lo largo de la Física y en los cursos de Física Cuántica y relatividad a los que él hizo alusión, así como el término propuesto por él para poner el foco de la enseñanza de la óptica: “**naturaleza de la luz**”. Asimismo, aparece una relación de sentido con la expresión “**comportamientos de la luz**” que usualmente hace referencia a la óptica geométrica y los problemas asociados a la velocidad y propagación de la luz.

EGA: [...] es decir, no me metía nunca, ni creo que lograban meterme en temas de preocupación por la naturaleza de la luz, era simplemente como comprender el comportamiento de la luz, y alrededor de eso, pues, si me llama la atención, a lo largo de la carrera, que los demás programas nunca tuvieron como problema la luz, yo vi electromagnetismo y simplemente ponía por allá un ejemplo de decir que la luz también se comporta como una onda electromagnética, pero de ahí a que eso me diera algún elemento, nada, vi relatividad, donde lo máximo que se podía decir es que la luz tiene una velocidad límite y que es un referente, y cuántica donde el problema de la luz es una dualidad, pero nunca que ellas fueran centro, nunca vi una óptica vista en esas otras asignaturas, [...] (EGA)

EGA: Ya lo otro es que cuando uno empieza a mirar que a lo largo de toda la carrera el problema de la luz es un problema fundamental, pues yo ya empiezo a decir que la óptica realmente nunca alcanzo en lo más mínimo a crearme ese tipo de preocupaciones [...] (EGA).

Llama la atención el rescate de la experiencia de formación que tuvo en el primer semestre en un curso donde se problematiza la observación de la naturaleza, donde le propusieron seguir un fenómeno accesible y cotidiano para todos: la iluminación de la luna, y en donde construye sentidos asociados a la observación y a la luz desde fenómenos astronómicos.

EGA: pero si me separo un poquito de la palabra óptica, como curso, yo alcanzo a recordar la experiencia que tuve en primer semestre, con una profesora muy querida que hoy en día es una amiga muy cercana [...] ella, lo primero que empezó a hacer es: observemos y observemos la naturaleza, pero no observemos la naturaleza per se, sino que empezamos a observar la naturaleza desde sus comportamientos, y empezamos a hacerle seguimiento a la luna, [...], o sea, uno como estudiante no tiene ninguna preocupación en que el otro quiere que vea alguno distinto, y yo veía la luna, y, pero entonces me decía: ¿cómo es tu orden de seguimiento a la luna?, [...], yo creo que allí empezó para mí a aparecer ese espíritu de ver un poco más allá de lo que me dicen que hay que ver, pues yo veía y yo decía lo que veía, pero ese juicio a través de, observar que la luz que emite la luna no tiene la misma intensidad, eso fue para mi impresionante, [...] (EGA).

En los cuatro relatos sobre como aprendieron óptica, llama la atención que se refirieron usualmente a cursos que son considerados “disciplinares” en la clasificación que hace el Ministerio de Educación Nacional (MEN) sobre la formación de profesores. Así, pareciera que la óptica no fue objeto de discusión por fuera de estos espacios de formación.

Por otro lado, en las formaciones imaginarias de GGP, EGA y NH, la enseñanza de la óptica enfocada a la formulación matemática no da cuenta de la comprensión de la óptica. Reelaborando esto, *la enseñanza de la óptica no debe reducirse a la formulación matemática.*

5.3 El papel de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia en la Enseñanza de la óptica para la formación inicial de profesores

En este apartado encontramos la discusión entre los formadores de profesores de Ciencias, en la que se identifican algunas concepciones epistemológicas sobre el conocimiento, la enseñanza de las Ciencias y su relación con la HFSC. En este apartado, el diálogo se ha parcelado en tres partes, que constituyen el objeto discursivo que surge en el análisis de los discursos: el conocimiento del profesor más allá de los contenidos, el papel de la Historia de las Ciencias y el problema de la verdad.

5.3.1 No hablemos más de contenidos en la formación de profesores de Física.

El diálogo prosigue con la siguiente intervención propuesta por la investigadora:

LAG: Bueno, yo creo que este primer reconocimiento de nuestra historia como estudiantes en la óptica, es importante para de alguna manera avanzar hacia que queramos entonces ahora que estamos en la posición de decidir frente a qué tipo de formación deberían tener nuestros estudiantes en este tema, y por eso yo hacia esta

primera pregunta, si estuviéramos en este momento decidiendo cuales son esos contenidos que van a estar en un programa de formación o que estuviéramos diseñando ese programa de formación pues que debería saber un profesor de Física sobre óptica, pareciera un poco claro que no es suficiente la matematización o no es suficiente una forma de entenderla solamente desde las matemáticas, que nos falta si, no se quien quisiera comentar al respecto (LAG).

En este apartado la investigadora incita al posicionamiento ahora como formadores, diferenciándolo del anterior, en donde la memoria se activó desde posiciones como estudiantes en la formación inicial. El uso del plural en los pronombres se puede interpretar como una forma de posicionarse en el mismo grupo de los formadores y reducir el mecanismo de anticipación que la pondría en el lugar de investigador- externo y a los formadores de objeto investigado. Esto está asociada a la diferencia entre posición y lugar. Así, aunque los formadores ocupan el lugar de profesores universitarios, en sus discursos es posible interpretar sus posiciones. Como menciona Orlandi (2006) “*o mecanismo imaginário produz imagens dos sujeitos, assim como do objeto do discurso, dentro de uma conjuntura sócio-histórica [...] na relação discursiva, são as imagens que constituem as diferentes posições*” (p. 42).

Por otro lado, en el decir “LAG: [...] decidiendo cuales son esos **contenidos** que van a estar en un programa de formación o que estuviéramos diseñando ese programa de formación pues **que debería saber un profesor de Física sobre óptica**” se percibe una reformulación del término “contenidos” a una expresión más amplia y aceptada en ese espacio: “saberes de un profesor de Física” en donde se acciona el mecanismo de anticipación, esto es:

Segundo o mecanismo da antecipação, todo sujeito tem a capacidade de experimentar, ou melhor, de colocar-se no lugar em que o seu interlocutor “ouve” suas palavras. Esse mecanismo regula a argumentação, de tal forma que o sujeito dirá de um modo ou de outro, segundo o efeito que pensa produzir no seu ouvinte. (ORLANDI, 2006, p. 39).

En ese sentido, la corrección sobre la marcha del decir se puede interpretar debido al efecto que procura evitar entre sus formadores. Esta es una relación de poder, pues como se mencionó anteriormente, cuatro de los cinco formadores estuvieron involucrados en su proceso de formación inicial y/o posgradual. Así mismo, el decir “*estuviéramos diseñando ese programa de formación*” se asocia a la condición de producción anteriormente descrita del proceso de construcción de un programa de formación inicial de profesores de Física.

Las respuestas de los formadores, como se verá a continuación, polemizan el término “contenidos”, surgiendo reformulaciones que van dirigidas a: Qué es eso que deben aprender/desarrollar/saber los futuros profesores de Física para enseñar óptica y que no son “solo” contenidos.

El primero en intervenir es GGP, quien anuncia que su intervención va a ser polémica en tanto cuestiona la formulación de la pregunta. GGP menciona:

GGP: Si quiere yo comienzo como siendo irreverente con la pregunta para polemizar acá, [...] porque la pregunta presupone digamos que la enseñanza debe estar orientada por unos contenidos, o sea que hay unos saberes que deben darse y entonces yo sí creo que la orientación debe cambiarse, o sea, yo creo que la enseñanza, digamos, de la Física o de las Ciencias Naturales, si bien debe estar interesada en algunos contenidos, yo lo pondría en un panorama mucho más amplio (GGP).

Como se puede interpretar, la idea de contenidos está asociada al parecer con temas de la Física que tradicionalmente se enseñan y parecen obligatorios. También llama la atención que, si bien no descarta la enseñanza de los contenidos, pues menciona “GGP: yo creo que la enseñanza, digamos, de la Física o de las Ciencias naturales, si bien debe estar interesada en algunos contenidos” lo controversial estaría en que no deben ser los contenidos lo más importante sino los aspectos asociados a la práctica y la actividad científica.

GGP: diría que valdría la pena reformular un poco digamos el asunto de una enseñanza centrada en contenidos y más en una perspectiva sobre la ciencia, la importancia de la ciencia socialmente en un país y obviamente en ese sentido. En el caso de la óptica, pues sí, hay que entender digamos que es la naturaleza de la luz, o sea, eso es importante, centrarse más en la naturaleza (GGP).

La reformulación aparece sobre el objeto de conocimiento, esto es, el profesor de Física debe desarrollar un conocimiento sobre la actividad científica. El “o” parece que establece una relación de sinonimia con la expresión “cómo se hace Ciencia” que también ha sido usada para hablar de Naturaleza de la Ciencia y que hace parte de las discusiones en Enseñanza de las Ciencias en donde se reconoce un importante papel de los estudios sociales de las Ciencias.

El segundo a tomar la palabra es LCA quién parece llamar la atención sobre la formulación de la pregunta y la forma de abordar este problema:

LCA: Yo quisiera si me permiten, recoger el clavo que él deja, [...], está mal formulada esta pregunta. Nos mete en la tradicional oposición entre contenidos formales conceptuales teóricos y actividades pedagógicas que van por él, complementos, [...] ese es un problema que no se puede disociar, bueno, se disocia y se sigue manteniendo esa separación y el currículo refleja esa separación, pero cada vez se entiende mejor que eso no debe ser así, me parece que a nuestro nivel tenemos que buscar otro tipo de formulación del asunto. (LCA).

LCA establece una asociación entre el término “contenidos” y la separación entre los saberes disciplinares y pedagógicos, pues al parecer el sentido de este término se asocia a los primeros, esto es, a los contenidos formales conceptuales teóricos, que son de una naturaleza diferente y opuesta a las actividades pedagógicas lo que evoca el problema referido en la historia de la pedagogía, de la jerarquización y delimitación del objeto de estudio de la pedagogía y el saber profesionalizante de los profesores de ciencias.

LCA: Claro, yo completaría por este lado para que, agregándole algo allí a lo que ya ha dicho GGP, es que el oficio del profesor es enseñar, entonces es lo que habría que reivindicar es que tipo de conocimiento se requiere para que el estudiante comprenda cualquier contenido de la Física o unos contenidos que son digamos estándar canónicos, yo creo que sobre contenidos canónicos no podemos no hay mucho que discutir porque de pronto eso los fija la tradición la experiencia, aquí hemos hablado de varios casos de contenidos significativos que estarían ahí presentes, el problema es que, si se trata de enseñar y de aprenderlos, entonces ahí viene en una dimensión que afecta fuertemente la noción de contenido, afecta fuertemente. Bueno entonces ese es el asunto, el caso digamos de la enseñanza de la Física, habría que ver el tema de contenidos relativos al oficio de la enseñanza. (LCA).

Llama la atención la polisemia del término “contenidos” pues en la intervención de LCA, subyace una distinción entre “contenidos de la Ciencia” y “contenidos para aprender los contenidos de la Ciencia”. Los “*contenidos canónicos*”, hacen referencia a los que están aceptados por la tradición y/o la autoridad y por tanto pareciera que son incuestionables, esto se evidencia en “yo creo que sobre contenidos canónicos no podemos, no hay mucho que discutir, porque de pronto eso los fija la tradición la experiencia”, por tanto, el foco de la discusión estaría en los “contenidos para aprender contenidos de la Ciencia” que parecen desplazarse hacia “contenidos relativos al oficio de la enseñanza”. Esto puede interpretarse como una forma de comprender el ejercicio de enseñanza como el desarrollo de metodologías, pues el “saber sabio” está prefijado. Una posición contraria a esta se ha desarrollado en la Didáctica de las Ciencias en las que se reconoce que tanto el “cómo” y el “qué” son cuestiones que requieren una toma de decisiones y acción crítica por parte del profesor de Ciencias. Como podemos ver en la afirmación de Izquierdo (2005) que menciona:

[...] se tiende a pensar que la didáctica puede «maquillar» cualquier tema y que es suficiente cambiar la fachada de los temas y la manera de enseñarlos para que los alumnos los aprendan. En consecuencia, desaparece el problema y la didáctica queda relegada a una metodología, perdiendo así su capacidad de fundamentar los nuevos currículos que está necesitando la enseñanza de las Ciencias (IZQUIERDO AYMERICH, 2005, p. 111).

Por su parte, el tercero en intervenir es EGA quién menciona:

EGA: Pues digamos, yo voy a ser un poco más irreverente que GGP, es que comparto que la pregunta es totalmente reduccionista, pero cabe dentro del ámbito de la didáctica, y le voy a decir porque, yo más que decir qué debería saber un profesor, o más qué debería saber sobre óptica, yo me pregunto es cuál óptica, porque pareciera ser que la óptica está definida, y yo cuando miro la historia encuentro que la óptica es un problema de complejidades (EGA).

La “irreverencia” es parte del mecanismo de anticipación, pues reconoce que al cuestionar los términos “óptica” y “profesor” en ese espacio, podría generar polémica, al plantear una alternativa al tema de discusión que hasta entonces son los “contenidos”. En su decir, EGA descentra la atención del término óptica y parafrasea la segunda parte de la pregunta “EGA: ¿que debe saber un profesor sobre óptica?” y es desde allí que infiere que se presupone una sola óptica, esto se interpreta de: “EGA: porque pareciera ser que la óptica está definida”.

Frente a la pregunta que se plantea a si mismo ¿cuál óptica? se puede interpretar que considera que existen varias ópticas que se diferencian en sus enfoques.

Estos decires se pueden interpretar como parte de formaciones discursivas en el marco de la educación en Ciencias, en donde hablar de contenidos se asocia con una lista, usualmente inconexa, de temas de la Ciencia, una lista como las de enciclopedia y dentro de la Didáctica de las Ciencias, donde la cuestión de los contenidos fue bastante polémica. Por ejemplo, Izquierdo Aymerich (2005) abordó la cuestión de los contenidos y propuso avanzar hacia una teoría de estos.

En ese sentido, menciona:

[...] considerar seriamente que los contenidos están en función de los otros elementos del sistema significa (Sistema didáctico en el que se relacionan los profesores, alumnos y los contenidos) que se tiene en cuenta una nueva cualidad del conocimiento: que sea «moldeable» para que puedan aprenderlo unos alumnos concretos, ya no todo puede ser aprendido significativamente ni de la misma manera por todas las personas. La profesionalidad del docente se manifiesta en la capacidad de organizar un escenario en el cual se aprenda la Ciencia que se enseña determinada con una finalidad educativa, mediante un complejo proceso de «transposición» o «reconstrucción» didáctica (Gundem, 2000). (IZQUIERDO AYMERICH, 2005, p. 112).

Como se evidencia, hay una paráfrasis de EGA con respecto a esta forma de concebir los contenidos, pues al problematizar la “óptica” justamente pone en juego una característica de la profesionalidad docente, esto es, organizar y seleccionar el “contenido” a ser enseñado para un profesor de Ciencias, cuestionando sus fines educativos, cómo menciona Izquierdo Aymerich (2005).

NH coincide con los anteriores aportes e inicia su intervención haciendo una síntesis de lo mencionado anteriormente por los formadores, evidenciando las relaciones de fuerza, tanto en la elección del turno (esta vez de último, en la primera pregunta tomo el turno de primero) como en la coincidencia con algunos puntos de vista de cada uno de ellos. En su formulación sobre los contenidos problematiza la función de estos en la formación inicial, poniendo en el centro de la discusión el futuro profesor de Física. Esto es:

NH: cuando nos plantea la pregunta del saber, entonces uno inmediatamente, yo dije no pues, si hay unos contenidos allí pero aún, más allá de esos contenidos es, digamos, eso que sentido y como se vive en el mundo, [...] nuestros profesores deberían esa Física debería permitir pensar su mundo, creo yo, pensarlo, [...] pensando en los diferentes conocimientos pues que nos plantean desde la didáctica, pero si vamos a los contenidos pues uno diría bueno un profe de Física debería conocer la naturaleza de la luz por ejemplo, [...] reconozca elementos de la Física geométrica, pienso que es fundamental que un profesor lo reconozca, elementos de como eso se conecta finalmente con su mundo, física geométrica y óptica física, que digamos complementa un poco digamos los contenidos como se plantean, pero yo si recogería esa idea de esas preguntas cruciales que me permitan hablar del mundo,

que me permiten cuestionar el mundo, finalmente, que tienen por su puesto desde como lo trabajamos aquí, discusiones políticas, discusiones sociales, discusiones ambientales, osea como entra a jugar eso allí, yo creería que ese es como lo fundamental allí en esa idea de óptica. (NH).

En el decir de NH se evidencia un foco asociado al sujeto- profesor en su formación inicial, es decir, el aprendizaje de la óptica por parte del profesor va más allá de su función para ser enseñada posteriormente en diferentes niveles. El aprendizaje de la óptica implica que el profesor pueda pensar el mundo. Los contenidos disciplinares que menciona son los que usualmente aparecen en la estructura curricular con la división de óptica geométrica, óptica Física y naturaleza de la luz.

Es necesario resaltar la polémica que desató la expresión “contenidos” y las diversas expresiones como “saberes”, “conocimientos”, que están en consonancia con diversos enfoques en la formación inicial de profesores y en las que “competencias”, “habilidades” también aparecen. Izquierdo propone una teoría de los contenidos desde la Didáctica de las Ciencias y nos invita a pensar en ellos como:

Los «contenidos» deberían verse como una historia con diferentes episodios y hechos, en la cual fenómenos del mundo que parecen desconectados toman sentido al relacionarse entre sí mediante entidades científicas de las que se tienen evidencias experimentales que se pueden razonar (IZQUIERDO AYMERICH, 2005, p. 120).

En la universidad aun es común encontrar currículos y planes de estudio centrados en contenidos enciclopedistas, que se derivan de la tradición y se relacionan con los índices de libros universitarios, particularmente en aquellas asignaturas de Ciencias y matemáticas. Reconociendo que los futuros profesores de Ciencias requieren una formación idónea en aspectos de la Física, es necesario cuestionar cómo se organizan estos currículos para atender a la dificultad de la segmentación y jerarquización del conocimiento. Frente a esto, Marcelo y Vaillant (2018) mencionan:

La figura del formador de docentes ha perdido identidad específica, desdibujándose dentro de un amplio plantel de docentes que desarrollan en general un currículum formativo excesivamente atomizado y descoordinado. La revisión de las mallas curriculares de muchas instituciones de formación nos muestra un currículum caracterizado por un notable divorcio entre el conocimiento disciplinar y el conocimiento pedagógico (MARCELO; VAILLANT, 2018, p. 7).

Por tanto, el objeto discursivo en el diálogo con los formadores de profesores de Ciencias está inmerso en el problema anteriormente denotado, esto es, la separación entre el conocimiento disciplinar y los demás conocimientos necesarios para que los futuros profesores de Física desarrollen prácticas educativas críticas y transformadoras. El cuestionamiento a los contenidos prefijados por la tradición como foco de la enseñanza, es puesto en discusión, sin

rechazarlos totalmente, sino desplazando el foco a cuestiones planteadas por la didáctica y la enseñanza de las Ciencias sobre los conocimientos profesionalizantes del profesor de Ciencias.

5.3.2 La Historia de las Ciencias en la formación inicial de profesores de Física.

Cada uno de los formadores se aproximó a establecer ese “que deberían saber los profesores” y en sus producciones discursivas se puede identificar que la Historia de las Ciencias apareció como un referente asociado a la elaboración de la respuesta. A continuación, presentamos las producciones discursivas de los formadores sobre la Historia de las Ciencias.

GGP considera que más que contenidos, es necesario saber cómo funciona la Ciencia. Esto es:

GGP: creo que la enseñanza digamos de la Física o de las Ciencias naturales si bien debe estar interesada en algunos contenidos, yo lo pondría en un panorama mucho más amplio, si, es que, en un conocimiento digamos de la actividad científica por ejemplo, o de como se hace Ciencia y en ese sentido cualquier tema de Física, debería servir para eso, para ubicar digamos el carácter digamos de la Ciencia [...] lo más importante es, bueno ahora como lo dicen ustedes, digamos los valores que transmiten o que están detrás de la actividad científica, [...] si realmente el conocimiento es un fiel reflejo de la realidad, si la Ciencia simplemente se hace por inspiración o digamos de individuos o si realmente es un trabajo colectivo y como es ese trabajo colectivo, si hay una ética altamente purista digamos en la actividad científica (GGP)

En lo dicho por GGP se puede interpretar que se ubica en las discusiones de los estudios sociales de las Ciencia, en donde la sociología de las Ciencias ha traído a tono el problema de los valores, el trabajo colectivo y la ética en la actividad científica. En la lista de tópicos que menciona GGP es posible reconocer algunos problemas propios de la filosofía de la Ciencia (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2021, p. 17) como son: a) Valores (GGP: [...] los valores que transmiten o que están detrás de la actividad científica, si la Ciencia simplemente se hace por inspiración o digamos de individuos o si realmente es un trabajo colectivo y como es ese trabajo colectivo, si hay una ética altamente purista digamos en la actividad científica) y, b) Correspondencia (si realmente el conocimiento es un fiel reflejo de la realidad).

Así mismo, se puede interpretar que la propuesta de GGP no se ubica específicamente en la formación inicial de profesores, sino en el campo de la Enseñanza de las Ciencias en general, pues él menciona:

GGP: yo creo que esos valores esos aspectos digamos de la actividad científica, deberían ser los prioritarios digamos en cualquier enseñanza incluso en la enseñanza sobre todo a nivel de secundaria y en los últimos cursos de secundaria que es donde se empieza a ver por ejemplo la óptica y yo creo que también en la Universidad, yo creo que en la Universidad debería contextualizar, es más difícil, es mucho más complicado, pero hay que buscar formas, digamos, de que eso se haga [...] (GGP)

En esta parte del decir de GGP, se puede evidenciar que está refiriéndose a la enseñanza en diferentes niveles educativos, por lo cual pareciera ubicarse en el lugar de investigador en enseñanza de las Ciencias. La afirmación “GGP: *yo creo que en la universidad debería contextualizar, es más difícil, es mucho más complicado, pero hay que buscar formas*” se puede interpretar como un desplazamiento al lugar de profesor universitario y la experiencia de enseñanza en este nivel con respecto al nivel de secundaria donde también enseñó. ¿Por qué en la universidad sería más difícil contextualizar?

En la misma línea de los aspectos anteriormente mencionados, propone como abordaje metodológico el uso de controversias científicas y el estudio de fuentes de los científicos, esto es, textos originales o de primera fuente. Esto se alinea con el enfoque epistemológico de la Nueva filosofía de la Ciencia (NFC), que se caracteriza principalmente por la relación estrecha entre la Sociología de la Ciencia y el enfoque historicista de Kuhn, que marcó la apertura a nuevos campos, desde miradas externalistas y el rechazo de la concepción lógico positivista (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO; ESTANY, 2002). Esto se puede interpretar en el siguiente decir:

GGP: [...] y obviamente allí rápidamente desemboco un poco en la tesis o en la propuesta metodológica que no es extraña digamos aquí en el Instituto y es de obviamente privilegiar digamos las controversias científicas, a partir del estudio de las fuentes digamos de los científicos, yo creo que esos son dos claves importantes que obviamente tienen que ver con los contenidos como tal pero tiene que ver con los problemas que surgen o que se debaten al interior de un tema específico, que involucra cuestiones históricas sobre la Ciencia, sobre cómo se trabaja en la Ciencia, el contexto social donde crecen digamos determinados saberes e incluso cuestiones políticas y sociales que se dan al interior de eso, yo creo que es eso importante mostrar todo eso, [...] valdría la pena reformular un poco digamos el asunto de una enseñanza centrada en contenidos y más en una perspectiva sobre la Ciencia, la importancia de la Ciencia socialmente en un país. (GGP)

El planteamiento anterior indica que el foco está en considerar los problemas científicos que dan lugar a ciertos “temas”, considerando aspectos llamados externalistas y contextuales e la actividad científica, lo que parece una materialización de la filiación a este enfoque epistemológico, que, como menciona Adúriz-Bravo (2017), desde final de los años 80, despertó un fuerte interés y aproximación con la Didáctica de las Ciencias, esto es, *el interés de nuestra disciplina se ha dirigido casi exclusivamente hacia la llamada “nueva filosofía de la Ciencia” (NFC), especialmente en su versión historicista (p. 56) y con algunos elementos de constructivismo epistemológico que ha resaltado los aspectos inventivos, humanos, dependientes de la cultura y de la historia, de la creación de los objetos teóricos de la Ciencia.* (MATTHEWS, 1994^a: 85; subrayado en el original) apud (ADÚRIZ-BRAVO, 2001, p. 159). Así mismo, el grupo de Física y Cultura ha desarrollado trabajos asociados al uso de textos de

primera fuente o textos originales, en el marco de los estudios histórico-críticos con fines pedagógicos desarrollados por los maestros que se acercan a estos textos con preguntas propias *y criterios para organizar el trabajo de exploración histórica según los intereses e interrogantes que lo animan en su actuación en el aula* (SÁNCHEZ; MANRIQUE; OSORIO, 2019, p. 33)

GGP enfatiza en que el foco de la formación en óptica sea la naturaleza de la luz, desde un abordaje de cuestiones históricas- filosóficas conceptuales y también matemáticas.

GGP: En el caso de la óptica, pues sí, hay que entender digamos que es la naturaleza de la luz, o sea, eso, es importante, centrarse más en la naturaleza de la luz, desarrollar cuestiones históricas filosóficas conceptuales y también matemáticas, pero obviamente no necesita uno sumergirse en un tecnicismo tan grande, eso ya depende de los intereses, [...]. (GGP)

No es claro para que nivel educativo se plantea este foco en la enseñanza, o si se está pensando la enseñanza de la Física en el nivel universitario sin distinción con la formación inicial de profesores, pues como interpretamos anteriormente parece ubicarse en el lugar de investigador en Enseñanza de las Ciencias, además se evidencia el mecanismo de anticipación, al contemplar las matemáticas, matizando su importancia en “*y también matemáticas, pero obviamente no necesita uno sumergirse en un tecnicismo tan grande*”, que puede deberse a la presencia de LCA, que es visto como investigador en la enseñanza e historia de las matemáticas.

LCA, por su parte, en una de sus producciones discursivas hizo referencia a la relación entre el “cómo enseñar” y la relación entre la selección de contenidos y la presentación de estos. Él dice:

LCA: bueno okay, cuáles son los problemas que tiene la enseñanza de la Física relacionado con ciertos contenidos que uno debería tratar de resolver en adelante, entonces a ver, cuando el formalismo de la óptica geométrica revela determinadas dificultades que nos llevan a que esos contenidos de la óptica en el caso de nuestra formación deban ser presentados de tal o cual manera, entonces uno va conducido es a ver cómo, el tipo de presentación influye mucho en la selección del contenido (LCA)

Reiterando esta idea de los conocimientos estructurantes de las disciplinas:

LCA: [...] qué tal si uno fuera capaz de llevar a nuestra formación ese tipo de principios de los cuales se estructura la Ciencia, no es tan difícil, eso se ha tratado de hacer, por ejemplo, en el caso de las matemáticas, hay un capítulo en la historia que ha sido fundamental, cuando todo la organización de los conocimientos en los años treinta, y eso te toca a ti, no?, estaba dispersa en una multitud de disciplinas y de teorías inconexas, se presenta una manera de organizar esos saberes que permite que lo que ya estaba allí, siga, pero ahora vive en un mundo de las estructuras, y además, hay posibilidades de prever otros desarrollos posteriores, esa fue una reorganización que se hizo clave en los saberes (LCA).

En este decir, se evidencia que los ejemplos que usa son del campo de la historia de las matemáticas y la enseñanza de las matemáticas, con uno de los episodios más importantes,

como fue la propuesta de reforma Bourbakista que inicia en Francia en los años treinta y que en los años 50 y 60 tiene su máximo apogeo y sus ideas *estaban contenidas en el manifiesto bourbakista «L'architecture des mathématiques»*, publicado en 1948 en el libro *Les grands courants de la pensée mathématique de F. Le Lionnais*, (LEDESMA; FERREIRÓS, 2010, p. 161-162), en el que también discuten la unicidad vs la diversidad, esto es, matemática o matemáticas, en búsqueda de la unificación de los campos de las matemáticas e impactando su enseñanza en todo el mundo. Sobre las características de esta reforma García (1996) menciona:

La escuela bourbakiana organiza las matemáticas a través de tres grandes estructuras, a saber, la algebraica, la topológica y la de orden. En esta organización se consideran las matemáticas como un cuerpo único, lo que implica que existe una única lógica conceptual y un lenguaje que da cuenta del conocimiento matemático. La filosofía que subyace a este planteamiento integra aportes de las escuelas logicista y formalista de las matemáticas. Estas conciben la matemática como conocimiento a priori, absoluto e infalible. La deducción, el rigor, la abstracción y la axiomática son la esencia de la práctica de las matemáticas (GARCÍA, 1996, p.197).

Este caso traído de la Historia de la enseñanza de las matemáticas se puede interpretar como una muestra del papel de la historia en la construcción de conocimiento de los profesores de Ciencias y Matemáticas, así como en el acercamiento de la historia de manera crítica. Los trabajos de LCA sobre la historia de las matemáticas y sus aportes a la enseñanza de las matemáticas muestran una perspectiva sociocultural, donde el acercamiento a la historia podría aportar en la construcción de conocimiento matemático, en el aprendizaje, como fuente de problemas y puente entre las matemáticas y la cultura (ANACONA, 2003).

Una réplica de LCA, resalta la importancia de los otros conocimientos que precisar integrarse para dar cuenta de la enseñanza. En ese sentido, recoge lo mencionado por HO y redirige la discusión hacia lo que el profesor de Ciencias requiere en la formación inicial:

LCA: Si yo agregaría a lo que dice HO, dos ideas que se quedan claras, dos ideas didácticas, [...] este profesor que quiere enseñar Física pero también cualquier Ciencia natural incluso también las matemáticas, tiene que tener una formación en su campo científico que sea suficientemente idónea para que él pueda tener un horizonte permanente de referencia en lo que es el otro propósito ligado con su actividad profesional, la subjetividad de quien está allí [...] si se trata de digamos de despertar interés de generar un sentimiento de indagación continuo, de observación sobre la naturaleza, eso no se puede hacer sino hincados sobre estrategias didácticas que tengan idoneidad científica, más allá incluso de los propios contenidos de un currículo [...] porque no es solo el conocimiento conceptual el que va a determinar que una estrategia de enseñanza sea viable en el momento, es necesario más no suficiente, tendrá que tener al mismo tiempo una cierta, un conocimiento en otras dimensiones, de la sicología cognitiva, de los recursos didácticos que se puedan movilizar, y todo ello en síntesis con el saber, es que es lo más berraco es eso, como poner ahí a funcionar con el saber mismo, integrándolos, [...] los didactas saben muy bien, ustedes todos, saben muy bien de toda esa problemática. (LCA).

Esta discusión se dio en los inicios de la Didáctica de las Ciencias al consolidarse como campo de investigación, en la que se configuró la Didáctica como un campo interdisciplinar

que recibe aportes de diversas disciplinas como la Psicología, Filosofía, Ciencias, Sociología, entre otras, pero que, a la fecha, logra configurar un campo de problemas, teorías y abordajes propios e independientes (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO, 2002). En la última parte se puede interpretar que se aleja del lugar de “Didacta de las Ciencias” en “LCA: *los didactas saben muy bien,*”, que puede inferirse como parte del mecanismo de anticipación en donde evidencia su proyección de los otros: GGP, EGA, NH, en el lugar de Didactas y que luego es ampliado a “*ustedes todos, saben muy bien*” incluyendo a HO. También es posible identificar una postura constructivista-cognitiva, en “LCA: [...] entonces ese profesor no tan solo tendrá que tener una idoneidad en lo científico sino en el tratamiento de todos los niveles de comprensión relativos al estado de desarrollo biológico cognitivo del muchacho” que se diferencia del constructivismo sociocultural de EGA y GGP, porque tiene su foco en la organización del saber y los procesos cognitivos.

La Nueva Filosofía de la Ciencia (NFC) también parece estar presente en el discurso de EGA, esto es, se interpretan relaciones de sentido entre los discursos de EGA y GGP, lo cual puede deberse a sus vínculos con la misma institución y grupo de investigación en los procesos de formación inicial y posgrado- maestría. Esto se puede notar cuando menciona la controversia científica, como sugiriera anteriormente GGP, muy conocida en la Historia de la óptica entre Newton y Goethe sobre la interpretación de los colores y la luz, y continua con el abordaje de problemas en la óptica que pueden emerger al leer a los científicos que han hablado de ella.

En la formación sobre óptica que sugiere EGA se puede inferir un distanciamiento de una enseñanza enciclopédica y fija de los conocimientos científicos, lo que presupone que es posible reconfigurar los objetos de enseñanza, que implican una participación activa del sujeto que aprende, esto es, una problematización en la búsqueda de comprensión del objeto de estudio que no es fijo. Este énfasis es levemente diferente al planteado por GGP, pues en el primero, los elementos históricos, sociales, políticos y contextuales parecía que se adicionarán a ciertos temas relevantes, sin embargo, EGA propone que estos elementos configuran una aproximación al tema y por tanto su presentación y comprensión. Tanto en la forma como elabora su discurso, como en la afirmación “*entendiendo que su historia no es su historia lineal, entendiendo que su historia es la manera como la gente, los científicos, han hablado de ella [...]*” se puede inferir una comprensión de la Historia de la Ciencia inscrita en los postulados de la Nueva filosofía de la Ciencia.

EGA dice:

EGA: el detalle es que como nos la han presentado, nos la han presentado tan fraccionada (la óptica) que nos han hecho creer que la óptica es solamente aquella que deriva en la geometría y en la Física, cuando realmente está inmersa en los problemas fundamentales de la Física misma, entonces yo sí creo desde allí que la pregunta fundamental, tiene que ver con cuál es la manera como usted se ha problematizado el mundo de la óptica, [...], pero si ha sido un problema, es un problema su historia, entendiendo que su historia no es su historia lineal, entendiendo que su historia es la manera como la gente, los científicos, han hablado de ella [...](EGA)

EGA parece hacer uso de la Historia de la Óptica como una fuente de problemas que configuran los “contenidos” a enseñar. Esto está en consonancia con postulados de la Didáctica de las Ciencias que consideran que es necesario reconocer los problemas y las estructuras que subyacen a la actividad científica, esto se identifica en la siguiente producción discursiva:

EGA: si el problema es “qué”, ahí es donde el “qué” me está llevando a ciertos contenidos yo digo no, no, no, no, los contenidos tienen que aparecer en las preguntas fundamentales, si yo me estoy preguntando como decía GGP por la naturaleza de la luz, pues seguramente algo que va a tener allí con mis preocupaciones es si la luz tiene una velocidad límite o no la tiene, entonces desde los experimentos de Romer empezamos a creer que si la tiene y de los experimentos de Fizeau en donde dice, huy si como que es posible medir, [...], si partimos de ahí entonces estamos en el esquema de que ese “qué”, está dado, pero mediado por preguntas fundamentales, y esa persona es la que debería tener esos elementos (EGA)

Los experimentos que se mencionan hacen parte de los problemas sobre la velocidad de la luz, lo cual muestra la importancia de este problema en la Física. En el primer caso, Romer (1644-1710) en 1672 calcula la velocidad de la luz usando observaciones sobre Io, la luna de Júpiter, en un eclipse, conjeturando que el retraso de casi diez minutos en el periodo de Io se debía al tiempo que demoraba la luz en viajar hasta la tierra. Fizeau (1819-1896) en el siglo diecinueve (1851) aborda este problema, esta vez diseñando un dispositivo con espejos y ruedas dentadas, en el que se lanzaba un rayo de luz y se calculaba el periodo de la rueda. Es notorio que en las producciones discursivas de EGA se incluyan menciones a casos y científicos de la óptica para ejemplificar sus puntos de vista, otorgando un lugar relevante a la Historia de la Ciencia en el conocimiento del formador de profesores para pensar la formación inicial de profesores de Física. Asimismo, el foco en la experimentación también se puede interpretar como inscrita en formaciones discursivas asociadas al nuevo experimentalismo, que se caracteriza por afirmar que el experimento tiene vida propia, y, por consiguiente, se enfocan en la independencia entre teoría y experimento (CHALMERS, 2000).

En otra producción discursiva EGA reitera la importancia de acercarse a la Historia de las Ciencias para conocer cómo se han planteado los problemas científicos:

EGA: y ahí comparto de que la historia no es un problema de venga a la fuente, sino, que es que la gente se ha preguntado del mundo, entonces leerlos a ellos le da a uno pautas, entonces eso para mí tiene que ver con la palabra que LCA recoge como idoneidad. (EGA)

EGA: A ver si me lo estoy confundiendo, porque ahora se estaba diciendo y precisamente LCA, que hay grandes elementos fundamentales del conocimiento, el tema del infinito, la preocupación por lo muy pequeño, y las grandes preguntas que se han hecho siempre están allí, y uno dice yo no miro la historia para ver qué dijo este señor, sino como él entendió ese problema, es decir, el problema sigue siendo vigente, osea, para mí la historia no tiene que ver con que Newton dijo porque dijo, sino qué está representando eso en las preguntas que yo me hago actualmente sobre el tema de la luz, y si tiene que ver, de qué manera, ahora por ejemplo, este tema de si la luz termina con la condición si es un fotón o no es un fotón, eso está a la orden del día (EGA)

Así mismo, esta forma de concebir la Historia está en consonancia con postulados de la Didáctica de las Ciencias y particularmente con intereses en la línea de investigación y formación en Historia, filosofía y Sociología en la Enseñanza de las Ciencias, que como mencionan Izquierdo Aymerich *et al.* (2016)

*La HC puede aportar a los profesores nuevas ideas en relación a la Ciencia que enseñan y a su profesión. Con ello, su concepto de “conocimiento científico” debería cambiar, puesto que su carácter a la vez contextual y con aspiración de perfeccionamiento en el futuro se hace evidente. (IZQUIERDO AYMERICH *et al.*, 2016, p. 66)*

EGA además propone que más que hablar de saber y/o aprender, se trata de vivir la Física.

EGA: [...] aquí es donde va mi irreverencia, yo digo, que no se trata de saber Física y enseñar Física, sino vivir la Física que es muy distinto, y el que vive la Física, la está construyendo y a la vez la está mostrando, sus alumnos pueden ser presenciales o no presenciales pero esa persona de alguna forma encarna los problemas fundamentales de lo que llamaríamos el conocimiento (EGA)

En esa propuesta, de vivir la Física, se pueden reconocer elementos de la epistemología constructivista, que tiene como tesis centrales: “a) *el sujeto cognoscente construye activamente el conocimiento y no lo recibe en forma pasiva del medio ambiente* b) *Llegar a conocer es un proceso adaptativo que organiza el mundo personal de la experiencia: no descubre un mundo independiente y preexistente fuera de la mente del sujeto* (MATTHEWS; 2017, p. 396-397)”, específicamente un constructivismo sociocultural que propone “una persona que construye significados actuando en un entorno estructurado e interactuando con otras personas de forma intencional” (SERRANO; PONS PARRA, 2011, p. 7). Esto también se puede identificar en su planteamiento sobre quien puede ser profesor y en el que se citan científicos como Einstein y Feynman, asociando el acto de enseñar con la construcción de sentidos.

EGA dice:

EGA: pues yo sí creo que los grandes científicos son los primeros que han cuestionado las formas universitarias de enseñar, uno ve un Einstein que cuestiona la educación de entrada, un Feynman que critica de entrada las formas como se enseña, claro porque es que el problema de enseñar se vuelve un asunto de como transmito y yo creo que ya eso, estoy de acuerdo con LCA, eso está mandado a recoger, hay que pensar en nuevas formas que permitan construir nuevos sentidos para que las personas que allí se formen, tengan los suficientes elementos de poder cuestionar a otros, y lograr que esos otros construyan sociedad a partir de preguntas fundamentales. (EGA)

Por otro lado, podemos identificar que EGA habla desde el lugar de Didacta de las Ciencias e investigador, en su decir: “EGA: [...] pero ahora que es lo que cabe para mi dentro del campo de la didáctica y es quién es un profesor, que aparentemente profesor pareciera ser que traduce y en la palabra es el que enseña”.

Por último, EGA propone desplazarse de la **historia** a la de **sujeto histórico**. Él dice:

*EGA: En el grupo de investigación nosotros hemos venido cuestionando la misma palabra **historia**, y nos hemos desplazado ligeramente de la palabra historia al **sujeto histórico**, porque es que la historia como que se exterioriza y se vuelve ella misma, entonces, cuando nosotros hacemos alusión al sujeto histórico, es que es el sujeto el que construye el devenir, entonces no es hablar de los conceptos en sí mismos, sino de los sujetos que produjeron conceptos en los contextos problemáticos en los que ellos se movían y ahí empieza para nosotros a tener más sentido, por qué por tradición se ha mostrado un Newton? Esa es una pregunta enorme y se la hago yo constantemente a la gente que enseña Física, ¿por qué Newton? ¿Porque no Euler? Por ejemplo, para ser más relevante, o ¿por qué no el propio Poincaré? Es Newton. Ahí estamos en ese esquema. (EGA)*

Este decir está en consonancia con la perspectiva sociocultural en la Historia de las Ciencias. Así, el desplazamiento de la Historia como un producto estático y por fuera de los sujetos, al sujeto histórico, quién es visto como un actor central, enmarcado en contextos y con cuestionamientos, está en consonancia con un enfoque de la Historia no estructuralista, donde la historia es considerada una construcción humana y, por tanto, el sujeto histórico es el protagonista, construyendo la historia. Esto también aparece nuevamente en la siguiente producción discursiva de EGA:

EGA: [...] la historia y empieza a volverse el elemento fundamental, el elemento que tipifica porque la historia no es para contarla, la historia es para vivir los problemas de la humanidad intentando comprender la complejidad del mundo que tenemos, y por eso algunos van en una dirección otros van en otra intentando hacer esa lectura (EGA)

Es importante resaltar que el sujeto histórico ha sido debatido ampliamente por diversas corrientes dentro del campo de la historia, tanto en posiciones estructuralistas, como deterministas y posmodernas. Sin embargo, esta formulación del sujeto histórico atravesada por cuestiones contextuales y culturales es una reformulación que se opone al estructuralismo Althusseriano (NARRA VICTORIA, 2007).

NH, por su parte, retoma la idea de “*vivir la Física*” planteada por EGA, estableciendo relaciones de sentido y parafraseando aspectos de las producciones discursivas anteriores de GGP, EGA con las que parece coincidir. NH dice:

NH: El profe, digamos aquí los profes, han planteado por ejemplo como de alguna manera que EGA lo recoge en vivir la Física, y en ese vivir la Física hay unas grandes preguntas fundamentales, que de alguna manera se relacionan con los planteamientos del profesor GGP y del profesor LCA [...] (NH).

Tanto los turnos de habla como la recuperación de aspectos que los anteriores formadores han mencionado se pueden interpretar como mecanismos de anticipación en donde aparecen las relaciones de fuerza. En ese sentido, entre los tres primeros formadores no se han presentado posiciones dicotómicas, sino que parecen estar, como se ha interpretado, bajo un mismo enfoque epistemológico y didáctico, coincidiendo en torno a la idea de “ir más allá de los contenidos”.

NH, por su parte, en su decir, se posiciona en el lugar de profesor de secundaria, trayendo problemas de la cotidianidad y de instrumentos asociados a la Óptica, como son el telescopio, la cámara fotográfica, el microscopio y fenómenos naturales cotidianos como el atardecer y el arcoíris. En su materialidad discursiva:

NH: cuando nos plantea la pregunta del saber, [...] si hay unos contenidos allí pero aún más allá de esos contenidos es digamos eso que sentido y como se vive en el mundo, esa, en particular la óptica, y entonces eso me trae a mí el ejercicio profesional como profe de Física de un colegio, [...] me encuentro con preguntas que los chicos si se hacen, [...] yo porque dejé de preguntarme del mundo, como si la Física está allí, la Física me habla, porque me dejé de preguntar por eso, y los chicos si todo el tiempo te preguntan, profe y entonces por ejemplo la cámara fotográfica cómo funciona, y como es que yo a través de ese telescopio logro ver eso a tantos años luz, entonces ahora el microscopio como logro ver cosas tan pequeñas, preguntas que los mismos chicos se hacen, el mismo arco iris pregunta clásica que el pelado le hace a uno, (NH).

Sin embargo, cambia su lugar de decir y se ubica como formador de profesores, indicando la necesidad de que la Física que aprenden les de elementos a los futuros profesores de Física para pensar el mundo, esto es, la relación entre el conocimiento y el estudiante en el sistema didáctico.

NH: o sea ese ha sido un cuestionamiento y que debería ser un ejercicio entonces desde la formación de profesores, o sea nuestros profesores deberían esa Física debería permitir pensar su mundo, [...] finalmente se vuelve una Física para resolver unos problemas que hay veces como que ni lo relacionamos con nuestro mundo, si, entonces un poco con relación al conocimiento digamos del profesor pensando en los diferentes conocimientos pues que nos plantean desde la didáctica, (NH).

Aunque en la discusión se ha rechazado parcialmente el término “contenidos”, NH también coincide, al igual que EGA y GGP, en que los aspectos de la naturaleza de la luz son

relevantes. Sin embargo, parece extender el sentido de “los problemas científicos”, a “preguntas cruciales para hablar del mundo”. A continuación, NH menciona:

NH: pero si vamos a los contenidos pues uno diría bueno un profe de Física debería conocer la naturaleza de la luz por ejemplo, [...] reconozca elementos de la física geométrica, pienso que es fundamental que un profesor lo reconozca, elementos de como eso se conecta finalmente con su mundo, Física geométrica y óptica física, [...], pero yo si recogería esa idea de esas preguntas cruciales que me permitan hablar del mundo, que me permiten cuestionar el mundo, finalmente, que tienen por su puesto desde como lo trabajamos aquí, discusiones políticas, discusiones sociales, discusiones ambientales [...](NH).

Tanto la propuesta de problemas fundamentales planteada por EGA, como las preguntas cruciales se pueden relacionar con lo mencionado por Ayala (1992), quien menciona:

Conocer la Física para un profesor de Física es conocer, en primer lugar, los problemas que han posibilitado la construcción de fenómenos, la formación y el desarrollo de los conceptos de la Física y su sistematización en teorías; las condiciones en que tales problemas fueron planteados, en especial, su pertinencia en el momento histórico en que fueron formulados (AYALA, 1992, p. 6).

Esto se relaciona con la perspectiva cultural de la enseñanza de la Física, en donde la Historia de las Ciencias tiene un papel fundamental para los procesos de recontextualización de saberes.

El último formador en tomar la palabra es HO, quien es profesor en el departamento de Física en la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Esto es una condición de producción relevante, pues como menciona NH en su decir “NH: desde como lo trabajamos aquí” puede estar asociado a la pertenencia a ciertas unidades académicas en la Universidad, en este caso NH, EGA y LCA han estado vinculados a la Facultad de Educación y Pedagogía, mientras que GGP está vinculado a la Facultad de Humanidades.

HO retoma algunas de las discusiones planteadas por LCA, NH y EGA. Su planteamiento está asociado a la necesidad de una fundamentación en Física por parte del profesor y una actitud de inquietud, esto es:

HO: Pues a mí me cogieron fuera de foco, yo no escuché a GGP, pero lo que ha hablado LCA, para hacer ese tipo de cosas tiene que ser una persona que conozca muy bien la teoría, [...] pero ese tipo de cosas necesitan que las personas o sea primero tengan una muy buena fundamentación, o sea, que esa frase no me gusta porque eso significa que está terminado, si, eso de hecho, y que como usted lo resalta (se dirige a NH) haya inquietud permanente y eso hace [...] si el profesor conoce realmente los conceptos, conoce las cosas, él puede orientar con cualquier evento lo que puede invitar a las sugerencias, porque lo más importante para mí es generar inquietud en el estudiante más que darle respuestas [...] (HO).

Así, en el decir de HO con respecto a LCA, se puede interpretar que, a los aspectos epistemológicos de la Ciencia les antecede una fundamentación teórica en la disciplina. Este tipo de cuestionamientos se asocian a modelos de formación 3+1, (tres años de formación

disciplinar y un año de formación pedagógica) pues se considera que un profesor de Física para tener una buena formación en Física debe cursar las mismas asignaturas que los físicos y en el último año, estudiar los problemas pedagógicos. Ese argumento es expresado insistentemente,

HO: Yo digo que la historia es muy importante, también es importante esas discusiones históricas, pero tiene que tener una estructura, tienen que estar fundamentados antes de atacar la historia, si se quedan en la historia, la historia es muy confusa, la historia es una discusión de muchos pensadores que a lo último socialmente se ha considerado un elemento que predomina que permite describir cosas [...](HO)

HO: Si, pero ahí mi observación, vuelvo a retomar mi observación, la historia enriquece mucho la discusión, pero tiene que tener una base para trabajarla, osea, la gente tiene que estar formada antes de meterse con la historia. (Grupo de discusión, 1:54:09) (HO.)

Al finalizar la discusión, la investigadora pregunta directamente ¿Cuál formación? A lo que HO responde sin definir exactamente a qué se refiere con “buena fundamentación”

HO: O sea, tiene que mirar cuál es el concepto de óptica, independiente, cuál es el concepto que por alguna razón primó y se mantuvo socialmente y que se maneja ahora exitosamente, [...] pero no tiene claro el argumento físico de la teoría, osea eso es, mientras que si la persona tiene una formación y después se mete en la discusión, [...], pero tenemos un acercamiento a las cosas, osea cada uno tiene su formación y vamos a la discusión, y yo digo que ninguno de los dos tiene la verdad y todos tienen una aproximación de las cosas. (HO)

La postura de HO irrumpe con la aparente concordancia epistemológica que hasta el momento se había establecido entre los formadores que participan del diálogo, pues su postura epistemológica con respecto al aprendizaje parece tender hacia el conductismo, con un fuerte énfasis en los productos decantados de la Ciencia.

HO problematiza el uso de la Historia de las Ciencias en la enseñanza:

HO: el problema que hay que tener cuidado con tratar de usar la historia para hacer, porque esas discusiones que enriquecen la discusión se han ido depurando con este argumento y han escogido una presentación que para la sociedad, [...] para la sociedad ha sido aparentemente la más eficiente para explicar muchas cosas, siempre hay problemas abiertos, [...] en esa discusión histórica uno lo puede estimular, sí, pero si involucra una persona nueva en el ambiente, en la discusión histórica, es un problema de riesgo alto, porque no hay claridad en realmente hacia dónde voy [...] o sea, son concepciones, no puedo evitar la evolución, primero la forma de entender el mundo, segundo todo el concepto que tengo alrededor, pero involucrar eso en una persona que está iniciando el aprendizaje, yo lo veo bastante riesgoso, es un problema.

Como se puede interpretar del anterior decir de HO, la Historia de las Ciencias es vista como un recurso para estimular a los estudiantes, y como una disciplina descriptiva, que narra los hechos de la Ciencia en diferentes épocas, lo cual se relaciona con una perspectiva técnica de la enseñanza de las Ciencias y de la Historia de las Ciencias.

Por otro lado, se puede interpretar que HO considera que la exposición a la HC es posterior a adquirir “el conocimiento de la Ciencia”, esto es: *“HO: pero involucrar eso en una persona que está iniciando el aprendizaje”*. No es claro sobre qué nivel educativo está hablando HO, o si se refiere específicamente a los futuros profesores de Ciencias. Frente a esto, LCA le hace una réplica en la que se puede identificar la concepción de HC en la formación de profesores:

LCA: Yo creo que lo que se ha dicho, no es tanto la historia en el aprendizaje mismo, sino en los profesores (HO: en la formación del futuro profesor), como un recurso para, no él recurso único, pero un recurso para él poder, digamos, desarrollar un conocimiento profesional que le resuelva el problema de la enseñanza concreta, y él sabrá como recrea esa historia, porque también es el asunto de que, es que la historia epistemológica de la teoría kantoriana, por ella misma, es útil para construir estrategias de formación en pensamiento conjuntista, o tiene que haber una mediación de esa historia que se sitúe en perspectivas específicas, eso es un asunto clave no? (LCA).

LCA plantea que la Historia es un recurso metacognitivo, para el desarrollo profesional del profesor de Física y el acercamiento a ella es con fines educativos, esto es, para resolver problemas de la enseñanza de las Ciencias.

En esa misma vía, HO comparte la experiencia de acercamiento a la Historia de la Ciencia en una disciplina que se desarrolla conjuntamente con otros colegas de la Facultad de Ciencias en donde procuran desarrollar una propuesta conjunta con otros colegas de la misma facultad, que trata tópicos de la filosofía de la Ciencia, en este caso la evolución de los conceptos científicos (AMADOR-RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2021), para estudiantes de Ciencias.

HO: [...] estamos en esa introducción a la Ciencia, y empezamos precisamente a mirar, pues alguna línea, suave porque son para estudiantes de primer semestre, de mirar cuál han sido evoluciones de esos conceptos [...] un poco lo que quiere resaltarse es retar lo que se tiene, ser críticos, y en ese caso pues me tocaba hablar de Aristóteles y la evolución, me dieron un par de semanas, entonces me tocó leerme los libros de Aristóteles o las traducciones de los libros, [...] Aristóteles dio casi la base de todo lo de Newton, o sea, el concepto de tiempo, el concepto de espacio, el concepto de lugar, el concepto de movimiento, todo, todo lo que está en esa parte [...] (HO)

Como se puede interpretar, se asume que los conceptos evolucionan con respeto al tiempo y se acumulan, es decir, el conocimiento científico y acumulativo, esto se puede identificar en: *“HO: Aristóteles dio casi la base de todo lo de Newton”*. Este aspecto de la filosofía de la Ciencia también lo encontramos en Kuhn (1996) en *“un papel para la Historia”*, en donde discute el problema de acercarse a la historia desde una visión acumulativa y progresiva de la Ciencia.

Esto es:

Quizá la Ciencia no se desarrolla por medio de la acumulación de descubrimientos e inventos individuales. Simultáneamente, esos mismos historiadores se enfrentan a dificultades cada vez mayores para distinguir el componente “científico” de las observaciones pasadas, y las creencias de lo que sus predecesores se apresuraron a tachar de “error” o “superstición” Cuanto más cuidadosamente estudian, por ejemplo, la dinámica aristotélica, la química flogística o la termodinámica calórica, tanto más seguros se sienten que esas antiguas visiones corrientes de la naturaleza, en conjunto, no son ni menos científicos, ni más el producto, de la idiosincrasia humana, que las actuales (KUHN, 1996, p. 22).

Se puede interpretar que el lugar de decir de HO es como profesor universitario de Ciencias y su acercamiento a la Historia de la Ciencia a través del Libro de Física de Aristóteles en la procura de movilizar formas de comprender aspectos de la naturaleza del conocimiento científico.

NH por su parte, coincide en la importancia de la Historia de las Ciencias para descentrarse de una enseñanza de la Física, en el discurso producido al respecto de lo mencionado por HO subraya nuevamente la importancia de las preguntas cruciales y menciona:

NH: yo creo que la falencia en términos de esos conocimientos es con relación a como nos presentan la naturaleza de ese conocimiento, y es que nos presentan esos conocimientos acabados, como que ya eso es lo que es y no hay otra posibilidad, yo creo que eso es lo que definitivamente limita a la producción de buenas preguntas o de nuevas preguntas, [...] la historia le permite al profe ir construyendo la naturaleza de ese conocimiento, la filosofía, la sociología, entonces es un profesor que entiende esos conocimientos digamos amarrados a unos contextos sociales, que entiende que la concepción de movimiento, por ejemplo, ha ido evolucionando, pero desde unas bases y que tiene unas formas de entenderse, si, eso le permite al profe, digamos reconstituir esa forma de saber (NH)

Este decir se relaciona con los desarrollos de la investigación en la línea de Historia de la Ciencia en la Enseñanza de las Ciencias, que ha mostrado ampliamente el potencial para contextualizar, humanizar y mejorar la enseñanza de las Ciencias y la comprensión de los conceptos y métodos de las Ciencias. En ese sentido:

La HC resulta importante al profesor de Ciencias porque:

Proporciona contextos a los conocimientos emergentes y saca a la luz aportes al conocimiento científico que no se han tenido en cuenta porque fueron desarrollados por colectivos poco relevantes (mujeres, por ejemplo) o fueron considerados erróneos o irrelevantes [...] Sugiere preguntas desafiantes sobre la emergencia de las entidades científicas con las que hoy se explica el funcionamiento y estructura del mundo material (Átomo y moléculas, entre otras, Izquierdo-Aymerich et al, 2009 (IZQUIERDO AYMERICH *et al.*, 2016, p. 15).

Como se puede ver, entre los formadores es posible identificar dos posturas alrededor del papel de la HC en la educación en Ciencias, una asociada a los postulados de la NFC aceptados y ampliamente difundidos en la Didáctica de las Ciencias y la Enseñanza de las

Ciencias y otra en la que la HC es vista como un elemento que podría traer obstáculos al aprendizaje de los conceptos científicos.

Entrelazada a esta discusión, surgió recurrentemente el problema de la verdad, que más allá de su formulación epistemológica, es visto en relación con el poder y la jerarquización del conocimiento científico. Esto es, la discusión sobre la verdad es una discusión sobre el ejercicio del poder de unos sobre otros y las disputas por los sentidos válidos.

5.3.3 *El problema de la verdad: posturas epistemológicas de los formadores de profesores de Física.*

Un objeto discusivo que constantemente estuvo en la discusión entre los formadores de profesores de Física fue la verdad. Este problema está en la matriz de la Filosofía de la Ciencia del siglo XX y por tanto resulta controversial, pues se asocia con la demarcación de la Ciencia y la relación entre la realidad y el conocimiento científico.

HO inicia con la discusión sobre la verdad y en reiteradas ocasiones dirige la discusión sobre este tema. En la primera producción discursiva donde menciona que “los profesores queramos ser los dueños de la verdad”, agrega que “tenemos poco conocimiento para esto” pues para ser “dueños de la verdad” se requiere saber todo.

HO: estamos, queremos ser los dueños de la verdad y tenemos poco conocimiento para ser dueños de verdad, entonces eso rechazamos el cuestionamiento y lo que hacemos es que castrar, yo prefiero que ellos, prefiero estimular ese tipo de cosas que decir la respuesta es ésta (HO).

Nuevamente, al hablar de la verdad, él menciona.

HO: yo soy enemigo de hablar de verdad, si, radicalmente no creo en la verdad, osea, soy radical en eso, creo en que entendemos algo, mejoramos la aproximación, podemos entender eso, algunas cosas más eficientes que otras para entenderlo, de tal forma que soy capaz de predecir, entonces ese tipo de cosas ahí tienen esos problemas de riesgo, o sea, cuando uno tiene un conocimiento y vamos a discutir de la historia [...] (HO).

Este decir se inscribe en el racionalismo crítico, en el cual las teorías no tienen un valor de verdad, sino que se refinan y se consideran según su eficiencia. Chalmers (2000) al explicar los postulados de falsacionistas afirma que:

Nunca se puede decir de una teoría que es verdadera, por muy bien que haya superado pruebas rigurosas, pero, afortunadamente, se puede decir que una teoría actual es superior a sus predecesoras en el sentido de que es capaz de superar pruebas que falsaron éstas (CHALMERS, 2000, p. 57).

En esta postura, por tanto, la búsqueda de la verdad es indirecta, es decir, más que probar que algo es verdadero, se somete a prueba hasta concluir que no puede ser falseado, lo cual permite que se incluya en el conjunto de teorías aceptadas por la comunidad. Esto también se

relaciona con los enunciados observacionales, que pueden ser usados para falsear una afirmación, más que para identificar su valor de verdad. Chalmers (2000) refiriéndose a la propiedad de la luz en el sistema newtoniano de viajar en línea recta, menciona:

Si se puede demostrar más allá de toda duda que un rayo de luz que pasa cerca del sol es desviado en una línea curva, entonces no es cierto que la luz viaje necesariamente en línea recta. La falsedad de enunciados universales se puede deducir de enunciados singulares adecuados (CHALMERS, 2000, p. 58).

Esta postura sobre la verdad aparece nuevamente en la materialidad discursiva de HO y cuestiona el posible relativismo en la postura de EGA:

*HO: [...] yo no entiendo cómo poner verdades en paralelo, no entiendo el argumento de verdad en ese sentido, [...] Volviendo al argumento, pues yo tengo dificultades cuando hablo de verdades paralelas porque no es mi definición de verdad, mi verdad sería, debe ser algo que, es una tautología [...], entonces yo le doy un caso, para hablar de ese argumento, [...] tiene esta mesa, la pregunta que hago automáticamente es, esta mesa es lisa y continua, o no es lisa y continua, si, si yo la veo aquí, yo la veo lisa, pero si pongo un lente de rayos x, esto es lleno de huecos, o sea, yo represento para lo que necesito como mesa para un objeto como estos lo representa como un continuo, y estamos hablando de la misma mesa, una cosa es como lo represento para hacer el análisis de los fenómenos, y otra cosa es que sean dos verdades, si ese continuo de esto me sirve para hablar de que puedo sostener las cosas y le puedo parar alguien encima y todas esas cosas y no se va a caer por ahí, está muy bien, pero si usted quiere mirar la estructura de eso, eso es lleno de huecos, simplemente póngale un lente suficientemente fino y eso es perforado, entonces yo aproximo las cosas asumo que para lo que yo necesito describir, el fenómeno que yo necesito describir, esto es continuo o esto es lleno de huecos, lo mismo aparece con la óptica y lo mismo aparece con fenómenos de la cuántica, esa complementariedad eso genera una infinidad de discusiones, yo soy bastante enemigo de eso (GGP: las mesas de Sir. Eddington, la mesa del príncipe y la mesa del ...), si porque dicen y ponen el dibujito de una persona ahí brincando en una onda, eso no es, o sea porque lo mismo con la óptica, **depende de lo que quiera describir**, si quiero mirar la reflexión en algo, si quiero mirar cómo se desvía la luz en algo, entonces me basta la óptica geométrica. (HO)*

En este decir se parafrasea un ejemplo tomado de la HC escrito por A. S. Eddington (1928) y titulado “The nature of the physical World⁵⁰” en el que reúne las lecturas en el marco de las conferencias Gifford en la Universidad de Edimburgo en Escocia en 1927. Es importante resaltar que Eddington escribió sobre las observaciones del eclipse de Sobral- Brasil en donde se comprobó la teoría general de la relatividad en 1919. Estas conferencias tuvieron lugar ocho años después de este suceso.

En la introducción Eddington menciona:

[...] Este no es un comienzo muy profundo para un curso que debería alcanzar niveles trascendentes de la filosofía científica. [...]. Y siempre que empiezo a rascar lo primero que golpeo son - mis dos mesas. Una de ellas me es familiar desde hace años. Es un objeto común de ese entorno que yo llamo mundo. ¿Cómo la describo? Tiene extensión; es comparativamente permanente; está coloreada; y, sobre todo, es

⁵⁰ Es posible leer el libro original completo en el siguiente enlace: <https://archive.org/details/natureofphysical00eddi/page/n13/mode/2up?ref=ol&view=theater> .

sustancial. Por sustancial no quiero decir simplemente que no se derrumbe cuando me apoyo en ella; quiero decir que está constituida de “sustancia” y con esa palabra trato de transmitirles una idea de su naturaleza intrínseca. [...] La tabla No 2 es mi tabla científica. [...]. Mi mesa científica es en su mayor parte vacío. En ese vacío se encuentran dispersas numerosas cargas eléctricas que se desplazan a gran velocidad, pero su volumen combinado equivale a menos de una mil millonésima parte del volumen de la propia mesa. A pesar de su extraña construcción, resulta ser una mesa totalmente eficiente (Eddington, A. S, 1929, p. IX-X).

El debate que plantea Eddington hace parte de los debates entre realistas y anti realistas que se renuevan con las teorías de la relatividad y la cuántica. De hecho, algunos filósofos interpretaron la postura de Eddington como idealista. Sin embargo, HO desarrolla una polisemia al usar este ejemplo, en donde intenta mostrar que lo que se modifica y ajusta a las necesidades es la representación, no la verdad y de acuerdo con las necesidades de descripción del fenómeno. Es decir, la discusión sobre la correspondencia entre el mundo real y los enunciados científicos es central en relación con la verdad.

Se puede interpretar que la postura de HO contiene elementos del realismo estructural que tal como explica Chalmers (2000) concibe la Ciencia como:

[...] realista en el sentido de que intenta representar la estructura de la realidad, y ha hecho un progreso constante en cuanto que ha tenido éxito al hacerlo con un grado de precisión cada vez más alto. Por otra parte, mientras que la Ciencia progresa firmemente al refinar constantemente las estructuras atribuidas a la realidad, son a menudo reemplazadas las representaciones que acompañan dichas estructuras (el éter elástico, el espacio como receptáculo de objeto e independiente de ellos). Hay cambios en las representaciones, pero un refinamiento constante de la estructura matemática. de modo que los términos realismo no representativo” y realismo estructural” tienen ambos una justificación. (CHALMERS, 2000, p. 230).

HO, frente a la idea de verdades paralelas lo relaciona con una tautología, esto es, con algo que no avanza, por tanto, se reafirma en que el foco en la discusión no debe ser la verdad sino las representaciones optimizadas.

GGP y LCA respondiendo al problema de la mesa propuesto por HO mencionan:

GGP: pero mira HO, o sea digamos filosóficamente y como para dar una respuesta digamos, ese problema digamos yo lo podría resolver digamos fácilmente y es dependiendo del sistema conceptual donde nos ubiquemos, pues tenemos conocimiento, o sea, a nivel de sentido común digamos, esta mesa es lisa y ponernos a hablar más eso significa que estamos errados no (HO: No yo no diría de que no, porque yo iría a ambos), es el sistema conceptual que tenemos manejamos y está apropiado y a nivel digamos molecular, ya si dos científicos se ponen a discutir en cuestiones moleculares ya ahí si hay divergencias y no sé si pueden varias verdades.

HO: No, mi argumento es depende del fenómeno que quiero describir.

GGP: Bueno, o desde donde lo quieras describir.

LCA: No tanto del fenómeno, sino (GGP: como lo quieras enfocar) del nivel de descripción que adoptes.

HO: No, no, no, yo ahí sí no, soy claro para eso, osea, es el fenómeno, osea, es el evento que voy a describir, si, si quiero describir la estructura de esto, tiene una estructura eso.

LCA: Ha, pero mira tú, “la estructura de eso”, ya está ahí.

HO: sí, pero, quiero mirar la estructura de esto, sí.

GGP: cuando yo digo, no una falsedad HO, ¿digo una falsedad cuando digo esta mesa es lisa? ¿Eso es falso?

HO: pero es que no sé qué es verdad.

GGP: eso es verdad.

LCA: En un momento determinado bajo las condiciones de tales o cuales dispositivos de observación, tú tienes una cuestión de verdad y los practicantes en esa teoría, la comunidad de práctica, se ponen de acuerdo en esos criterios y procedimientos, pero es relativo a qué tipo de digamos, cual es el nivel de objetivación que tienes, con qué nivel.

En el debate, tanto GGP y LCA parecieran coincidir en su interpelación a HO, deslizando la discusión sobre la correspondencia entre enunciado-mundo real a la representación y la subjetividad de quien establece el enunciado, que también se inscribe en las formaciones discursivas sobre el relativismo y la nueva Filosofía de la Ciencia. Esto se puede afirmar de acuerdo con el uso de términos como “practicantes de esa teoría”, “comunidad de práctica” “se ponen de acuerdo” que son usados para explicar la Ciencia normal y el progreso en la Ciencia.

Por otro lado, LCA evidencia la conexión entre la discusión epistemológica sobre la verdad en la Ciencia y sus implicaciones en las concepciones sobre la formación de profesores. En palabras de LCA:

LCA: [...] porque es que te quiero decir que este problema que se ha discutido aquí, en el que hemos caído sobre la cuestión de la verdad, tiene mucho que ver con lo que él decía, al comienzo, que son ideales, que tienen que estar presentes en el momento en que uno se hace la pregunta, ¿qué le enseño a un formador de formadores, como contenido? (HO: qué verdad), porque eso es insoluble, tú no puedes enseñar unos contenidos si no hay unos conceptos estructuradores que están guiando la práctica del matemático ahí, fundamental [...] (LCA).

Por otro lado, la discusión sobre la verdad planteada por HO también recibió réplicas de EGA, que planteo una posición contraria al realismo de HO y al igual que LCA argumenta sobre la relación entre las concepciones epistemológicas y lo que se aprende sobre óptica:

EGA: [...] hay que empezar por reconocer que la Ciencia es compleja, es decir, si uno entiende la complejidad de la Ciencia, [...] recupero un poco lo que decía GGP, la Ciencia en su complejidad vive de tensiones, de controversias, de apuestas, de dinámicas, y no es porque alguien diga algo y eso tenga que ser, es porque hay alguien que está en controversia y está intentando hacer otras lecturas, la famosa, el famoso debate entre Newton y Huygens es una muestra de ello, y si se quiere el debate entre Bohr y Einstein, a propósito del mismo problema de la luz, pero estamos hablando de que los conflictos y las tensiones son constantes, el que hace normalmente la enseñanza de la óptica pareciera ser que nunca muestra eso, sino que muestra verdades per se, y entonces la persona con verdades per se, no tiene con que confrontarse sino que simplemente termina por asumir esas verdaderas y reproducirlas en el mejor de los casos, pero si logra entrar en que la controversia le dinamice las maneras de entender, pues allí tendrá que entrar (EGA).

EGA: [...] HO dice, la verdad yo no creo en la verdad, digamos es un compartir aquí muy generalizado, que tratamos de no compartir el sentido de lo que es la verdad, pero resulta que cuando estamos en los debates hablando de la Física, empiezan a

aparecer verdades y esas verdades terminan legitimándose desde el punto de vista histórico, un poco de la evolución del pensamiento (HO: tal cual), entonces claro, aunque uno se pregunte bueno, entonces finalmente, si no hay verdad de qué mudo hablamos, cuál es el mundo del que hablamos, es el mundo de la subjetividad per se? O estamos hablando de ese mundo institucionalizado, entendiendo por institucionalizado y es que la Física es institucionalizada, entonces de cual verdad, cuando yo me acerco a leer los problemas de la óptica, pues me encuentro con las verdades de Newton, pero inmediatamente me encuentro con las verdades de Huygens, y ambas verdades son muy fuertes, claro y cuál es la que de pronto puede uno decir (HO: pero no entiendo, como van a haber dos verdades paralelas?), claro, exactamente, que es lo que llamamos controversia, en qué momento esa empieza a aparecer, la diferencia entre ellas, pero resulta que por un lado sigue toda la línea del concepto de la luz como onda y por otro lado sigue el concepto de la luz como algo discreto, una lleva hasta todos los elementos fundamentales del electromagnetismo y la otra nos lleva hasta el nacimiento de la cuántica, y en donde termina el asunto, en un problema de complementariedad, es decir, estoy intentando [...] pero entonces el profesor, que en ese sentido comparto, no tiene ese dominio pues termina diciendo una verdad y luego termina diciendo la otra, pero nunca que el estudiante cuestione cuál es el alcance de tales verdades en los contextos en los que lo está mostrando (EGA).

En esta materialidad discursiva es posible encontrar elementos del relativismo propios de la epistemología constructivista. En ese sentido existen múltiples verdades y como menciona Chalmers (2000) al analizar el trabajo de Kuhn:

[...] la elección “entre paradigmas en competición resulta ser una elección entre modos incompatibles de vida en comunidad”, de tal manera que ningún argumento se puede imponer lógica e incluso probabilísticamente”. La insistencia de Kuhn (1970^a, p. 238) en que la manera como podremos descubrir la naturaleza de la Ciencia es “intrínsecamente sociológica”, y en que se logrará “examinando la naturaleza del grupo científico, descubriendo lo que valora, lo que tolera y lo que desprecia”, también conduce al relativismo, si resulta que grupos distintos valoran, toleran y desprecian cosas diferentes (CHALMERS, 2000, p. 109).

Así, en su decir, las controversias justamente muestran modos inconmensurables de ver el mundo, que desembocan en la complementariedad como una forma de que coexistan las dos teorías en la Ciencia.

En esta discusión sobre la verdad participaron los profesores con más experiencia en la docencia universitaria, NH no intervino, esto puede deberse a las relaciones de fuerza, en tanto que los otros cuatro formadores han desarrollado estudios al respecto en sus respectivos doctorados y por tanto la formación imaginaria asociada a ellas, que proyecta NH es de expertos, en la misma vía de que quién puede hablar de ello- la verdad y las cuestiones filosóficas- sea un experto.

5.3.4 El proyecto educativo común-la organización institucional.

Un planteamiento por fuera de la dimensión epistemológica que anteriormente se ha presentado, fue desarrollado por GGP, quién mencionó la importancia de establecer un proyecto común para el desarrollo de propuestas con un enfoque diferencial y que surge después de la

narración de la experiencia compartida por HO. Veamos a continuación esta producción discursiva:

GGP: [...] yo creo que sobre todo son las experiencias de los que nos comenta HO, [...]pero yo también yo creo que esto es un asunto (problema de la enseñanza de la Física) institucional [...], esto debe ser una política institucional que permita que toda esta variedad de enfoques que se dan respecto a la Ciencia, se permitan desarrollar, [...] el problema aquí que tenemos es que nosotros recibimos un estudiante y lo vamos es metiendo ahí en una hilera allí, y esa es la idea de los contenidos [...] entonces yo si veo que debe ser un trabajo conjunto [...], pero siempre son la idea de dar algunas herramientas básicas para la comprensión, digamos del mundo físico, comprensión digamos de la Ciencia, yo sí creo que es importante el valor que tiene la Ciencia a nivel social y como es que se hace Ciencia, [...], y en ese sentido yo allí haría un llamado digamos a que hayan mecanismos y procedimientos institucionales que conlleven digamos a proyectos comunes (GGP).

El efecto de sentido que produjo la producción discursiva de GGP en EGA fue asociada con una defensa de la institucionalidad entendida como normas y organizaciones que restringen las posibilidades de desarrollar propuestas. En este planteamiento, el discurso de EGA busca ser polémico sobre la institucionalidad:

EGA: la parte de la institucionalidad, ahí sí, es decir, nosotros nos debemos a una tradición, que es la tradición occidental, no, institucional, no sé si se trata de perpetuar la institucionalidad o intentar ver que o cuales son las dificultades de la institucionalidad que permitan empezar a romper también con ella, aquí tenemos en estos momentos una institucionalidad de términos de las formas que están absorbiendo a la Universidad [...], pero como que no nos atrevemos a romperlas tampoco, porque pareciera ser que están dadas, pues yo sí creo que la institucionalidad es precisamente para romperlas (EGA).

Sin embargo, GGP reformula el planteamiento haciendo énfasis en la necesidad de un proyecto común que rompa con la división organizacional por facultades asociadas a campos de conocimientos en la Universidad, esto es: Facultad de Ciencias, Facultad de Humanidades, Facultad de Salud, Facultad de Educación, etc.

GGP: Si quiere cambio el termino para que no, es, debe haber un proyecto común, un proyecto educativo común, si, uno diría, como facultad o como departamento de Física, yo creo que no, tiene que romperse el límite del departamento de Física y debe de estar en el departamento de matemáticas, como facultad de Ciencias solamente? [...] (GGP).

Las condiciones institucionales, como se mencionó en el capítulo I de esta tesis, así como el desarrollo de políticas asociadas a la formación de formadores de profesores son aspectos poco contemplados en la investigación. Esto también se evidencia en la discusión entre los formadores aquí analizada, pues esta producción discursiva no tuvo mayor eco entre los demás formadores y fue superada por la discusión sobre la verdad en la Ciencia.

5.3.5 La naturaleza de la luz vs la óptica. Aspectos de la luz y sus interacciones con la materia.

Otro de los aspectos abordados brevemente en el diálogo entre los formadores de profesores de Ciencias fue el sentido asociado a la “óptica” y su alcance para abordar todos los aspectos actuales asociados a la luz. Esta discusión fue propuesta por GGP al inicio del diálogo y al finalizar, retoma nuevamente la discusión a manera de síntesis, esto es:

GGP: [...] el problema de la luz si debiera ser objeto de reflexión en todos los cursos de Ciencias, o sea, el problema de la óptica debe ser la luz, debe ser un tema importantísimo en Ciencias naturales, porque recorre toda la historia digamos de la Física, atraviesa todo.

LAG: Bueno, [...] realmente la dificultad por ejemplo en lo que he venido investigando sobre distinguir la naturaleza de la luz y la óptica, pareciera que el termino más abaricable es óptica, aunque yo tengo la misma impresión que el profe GGP, pareciera que la naturaleza de la luz no entraba dentro de los problemas ópticos, pero se ha generalizado en la investigación tanto en Física como en la enseñanza de la Física, cuando hablamos de estos problemas utilizar óptica [...]

GGP: Newton dice, óptica, colores y naturaleza de la luz, o sea óptica era para el problema de las lentes y todo eso, colores era un fenómeno específico.

LAG: Y ahora ya no aparece ni siquiera colores, ya solamente óptica.

GGP: Otros, hoy en día se habla de tratado de la luz, por ejemplo.

LCA: Si miras la historia de la enseñanza de la Física en Colombia, en el paso crucial, digamos del periodo de lo escolástico (Hernán: eso generó un retraso fuerte), bélico, a lo Newtoniano, tú ves que la óptica ahí es un indicador de transformación de paradigmas, digámoslo así, o de la aceptación de la introducción de paradigmas, porque es una lucha fuerte contra la óptica escolástica, sensualista, perceptual, cualitativista, entonces, la óptica cartesiana se vuelve un momento fundamental y es anterior al momento en el cual entra Newton, entra más bien por Descartes y luego entra la de Newton, pero, de verdad, la teoría que permite una transformación continuada y fundamental entre Ciencia “ilustrada” y Ciencia “republicada”, es la teoría de la luz, esa es una digresión digamos histórico-cultural que puede no ser importante, puede que eso ocurrió así y estoy muy de acuerdo a como lo entendí a HO, la historia no necesariamente te puede permitir una reconstrucción curricular, de los profesores ahora, no, para los formadores de formadores esa historia puede no ser relevante, sí, porque puede ser que ahorita sea la óptica misma y no la teoría de la naturaleza de la luz, pero la teoría de la naturaleza de la luz dio lugar a debates, controversias radicales, a avanzar los procesos de matematización en el país, a que se introdujeran textos modernos que no existían y que eran portadores de esa nueva teoría de la luz, a la reforma de planes de estudio.

En las anteriores producciones discursivas que hacen parte del final del diálogo entre los formadores, GGP y LCA coinciden en la importancia del abordaje de los problemas asociados a la luz en la formación en Ciencias. GGP menciona la obra de Newton como un ejemplo de que los problemas de la naturaleza parecían disgregados de la óptica y del problema de los colores o expresiones más generales como “tratado de la luz”. Por su parte, LCA se remite a sus investigaciones históricas sobre la formación y desarrollo de la cultura científica en Colombia, afirmando la importancia de estas discusiones en el currículo colombiano.

5.4 Síntesis del AD de los discursos de los formadores sobre la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Ciencias

En el diálogo entre formadores de profesores de Ciencias que participaron en esta investigación, se interpreta que el objeto discursivo este alrededor de tópicos epistemológicos que guían las decisiones de los formadores en la enseñanza de las Ciencias. Así, al volver sobre sus experiencias como aprendices de óptica en la formación inicial, establecen cuestionamientos a la matematización que se presentó en la enseñanza de la óptica en contraste con actividades experimentales y exploratorias que les permitieran construir sentidos asociados a los fenómenos de la luz.

Asimismo, en el grupo de discusión no aparecen reflexiones sobre su praxis como formadores de profesores de Ciencias. En contraposición, usualmente se colocan en el lugar de investigadores, historiadores y en general, profesores universitarios, extendiendo sus reflexiones al ámbito de la enseñanza media y universitaria. El formador NH usualmente toma el lugar de profesor en la enseñanza media y desde la experiencia en la práctica plantea cuestionamientos a la formación recibida. Los profesores NH y EGA ocupan también en sus producciones discursivas, el lugar de formadores de profesores en la Didáctica de las Ciencias, esto puede deberse a que están directamente relacionados con programas de formación de profesores de Ciencias y sus líneas de investigación e interés están en relación con la enseñanza de las Ciencias.

Los aspectos que los formadores de profesores de Ciencias que participaron de esta investigación consideran como elementos claves en la formación parecen estar en consonancia con la tradición y la investigación en enseñanza de la Física (como mencionamos en el capítulo 2), esto es: naturaleza de la luz y óptica geométrica, sin embargo, el objetivo y la presentación están en consonancia con aspectos asociados a la HFSC en la EC como son: Problemas del conocimiento para comprender el mundo, problemas fundamentales que subyacen a los productos de la Ciencia, actitud de indagación, cómo se hace Ciencia y valores y prácticas en la actividad científica. Asimismo, se apartan de posturas en la enseñanza de la óptica que se enfocan en problemas matemáticos de lápiz y papel. En ese sentido, consideran que la experimentación juega un papel fundamental en la construcción de sentidos sobre la luz, en consonancia con las producciones en el campo de investigación en enseñanza de las Ciencias.

Los ejemplos históricos que utilizaron en el diálogo giraron en torno a algunas de las controversias más discutidas en la HC para la enseñanza de las Ciencias, estas son: Newton-

Goethe; Newton- Huygens; Relatividad y Cuántica, cómo se señala en la Figura 28. Lejos de intentar presentar una línea de tiempo hagiográfica, lo que se resalta son los ejemplos sobre los que orbitan las cuestiones asociadas a la comprensión de la luz y que dejan por fuera otros casos y problemas que podrían ser considerados con propósitos didácticos. Algunos ejemplos mencionados por los formadores de profesores de Ciencias mostraron la relación entre aspectos de la luz y problemas de la Astronomía, así como el papel de los estudios de la luz en la constitución de nuevos paradigmas en Colombia.

Volviendo a la anterior línea de tiempo y recogiendo los aportes de los formadores en el diálogo acerca del foco en los problemas de cada época, es necesario cuestionar qué se necesita saber sobre Óptica en una matriz más amplia en donde se ubique el contexto, época, clase social, género, relaciones con otros campos del saber, así podríamos dimensionar la empresa científica y la necesidad de establecer criterios para considerar casos de la HC para la formación de profesores de Física

Por otro lado, identificar la epistemología de los formadores y las ideas que configuran su forma de pensar la Ciencia, la Historia de la Ciencia y la enseñanza de las Ciencias es fundamental en esta tesis. Tal como menciona Matthews (2013) “[...] existen muchas evidencias de que la epistemología de los maestros, o sus ideas sobre la naturaleza de la Ciencia, afectan la forma en la que dan clases, el mensaje que transmiten a los alumnos y, en última instancia, la epistemología de los alumnos mismos” (p. 45). Por tanto, es probable extender este enunciado a los formadores y considerar que su epistemología está en estrecha relación con sus prácticas y decisiones curriculares, en ese sentido es importante cuestionar cuales son las ideas epistemológicas más convenientes para la formación de profesores de Ciencias de cara al propósito de formación compartido.

Así, interpretamos que las posturas epistemológicas de los formadores que participaron en esta investigación, giraron en torno a la Nueva Filosofía de la Ciencia y a algunos elementos del racionalismo crítico, dejando de lado nuevos abordajes sobre los modelos en la Ciencia y sus posibles aportes en la formación de profesores de Ciencias, tal como menciona Adúriz-Bravo (2017): *“parece fundamental incorporar elementos de la llamada “familia semanticista”, que muchos autores consideran muy potente para la enseñanza de las Ciencias”* (cf. Koponen, 2007; Adúriz-Bravo, 2012, apud ADÚRIZ- BRAVO, 2017, p. 57).

Para finalizar, el acercamiento a la HC con fines didácticos está influenciada por la escuela epistemológica en la que se inscriben nuestras formaciones ideológicas, en ese sentido, es posible reconocer en el discurso de los formadores el potencial de la HFSC en la formación

de profesores de Ciencias. Esto podría ser un elemento nuclear hacia la construcción de una identidad profesional del formador a través de una formación en la praxis que se enfoque en la relación entre cuestiones epistemológicas y didácticas, esto es:

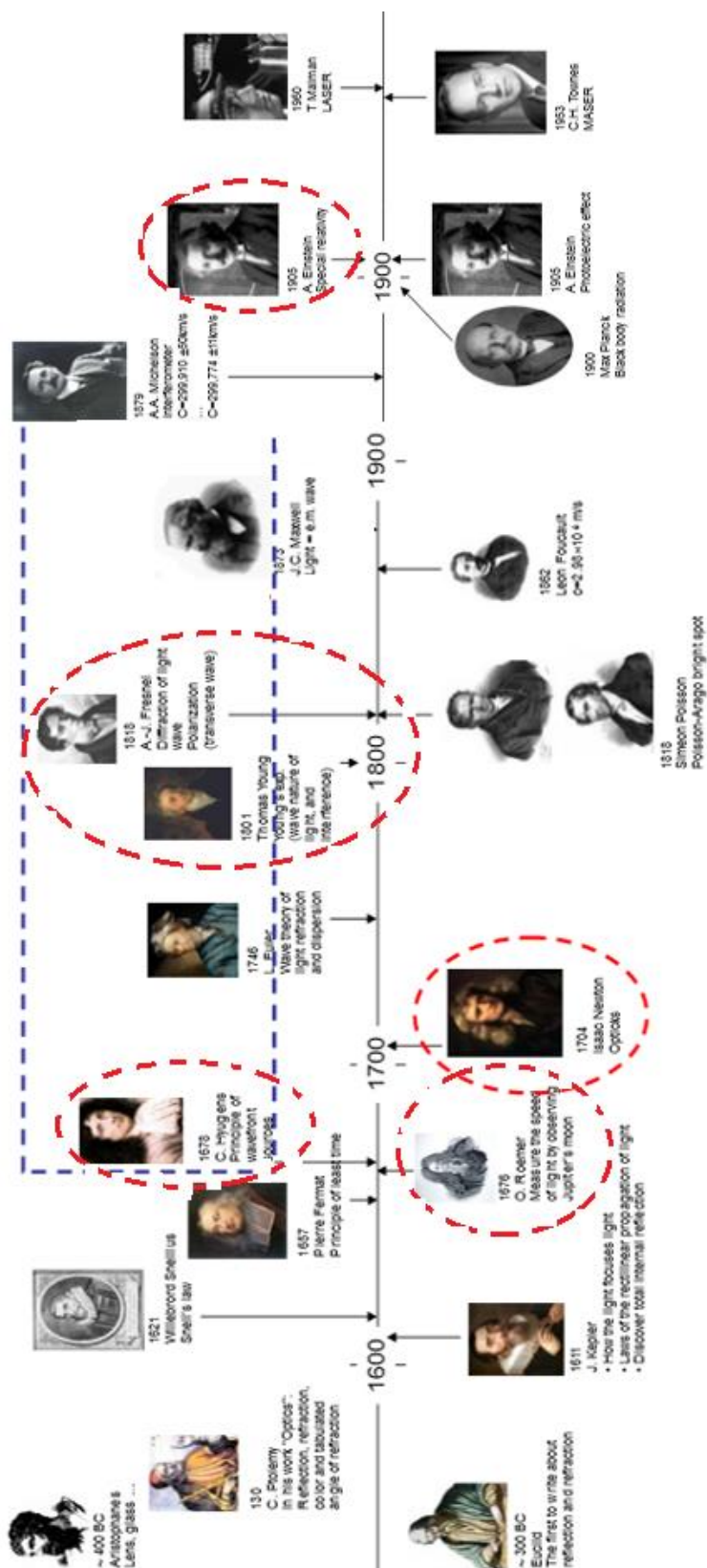
[...] se trata de generar con los profesores un trabajo bien articulado entre los conceptos epistemológicos “duros”, los ejemplos de Ciencias a los que estos se aplican, y las consecuencias didácticas que se derivan de esa aplicación. De esta manera, las construcciones de la epistemología cobrarían sentido para el profesorado y, lo que es más importante aún, lo ayudarían a transformar su práctica profesional, en el entendimiento de que pensar epistemológicamente la Ciencia escolar estructura una enseñanza constructivista de calidad (ADÚRIZ-BRAVO, 2017, p. 63).

Este propósito lo extendemos en esta tesis a la formación de formadores de profesores de Ciencias y por tanto en el siguiente capítulo presentamos una propuesta con raíces en la HFSC en la EC.

Por último, los análisis de los discursos de los cinco formadores de profesores fueron compartidos con ellos. Teniendo en cuenta el carácter de esta investigación, consideramos que el proceso de comunicación y el retorno de los resultados de la investigación a los sujetos que participaron, en el marco de un análisis interpretativo y con fines educativos, está en consonancia con la búsqueda de diluir la frontera objeto-sujeto. Por tanto, consideramos que al compartir los resultados de la investigación y recibir el feedback de ellos se validan y retroalimentan los análisis.

Hasta la entrega de este documento, tres de los cinco formadores enviaron respuesta positiva sobre los análisis y uno de ellos solicitó ampliar y rever por escrito algunos de sus comentarios. (Véase Figura 28).

Figura 28 - Algunos científicos que aportaron a los aspectos de la luz



Fuente: Tomada y adaptada de <https://slideplayer.com/slide/10749993/>

6. HACIA LA FORMACIÓN DE UNA MIRADA CALEIDOSCOPICA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA PARA SU ENSEÑANZA

En este capítulo se presenta una propuesta para el desarrollo de procesos de recontextualización de saberes para la formación y praxis de formadores de profesores de Ciencias. Se muestra la conceptualización del instrumento para la praxis y uso en el desarrollo de un ejemplo para la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores de Física en Colombia, desde la autora de esta tesis que se ubica como formadora novel y basada en la investigación en Enseñanza de las Ciencias.

6.1 Desarrollando una mirada caleidoscópica de la Ciencia y la tecnología para su enseñanza

En la introducción de “La estructura de las Revoluciones científicas”, Kuhn (2013) mencionaba:

Si se considerase 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. Dicha imagen ha sido extraída inicialmente, incluso por los propios científicos, sobre todo del estudio de los logros científicos acabados tal como se registran en los clásicos y posteriormente en los libros de texto, en los que cada nueva generación científica aprende la práctica de su oficio (KUHN, 2013, p. 101, subrayado propio).

Este problema ha sido ampliamente abordado en la enseñanza de las Ciencias, perfilándose, posiblemente, como uno de los objetivos más importantes de la alfabetización científica, por lo cual se han producido una cantidad considerable de investigaciones y propuestas que buscan contribuir a producir una imagen de la Ciencia adecuada, pues como mencionan Adúriz-Bravo y Pujalte (2020) “Las imágenes ingenuas de la Ciencia y de los científicos están en contradicción con la idea de que el conocimiento de la Ciencia y sobre la Ciencia es indispensable para que las personas puedan ejercer una ciudadanía plena” (p. 201).

Fernández *et al.*, (2002) resaltan que estas visiones o imágenes ingenuas también se encuentran en la formación universitaria, pues, el foco de la enseñanza de las Ciencias en este nivel han sido los productos de la Ciencia, sin permitir un acercamiento a la práctica científica. Esto contrasta con lo mencionado por Aduriz-Bravo y Pujalte (2020) al referirse a los estudiantes, profesores, ciudadanos y científicos, en los que persiste una

representación de la Ciencia como una actividad elitista y excluyente, llevada a cabo principalmente por varones blancos de mediana edad que siguen "el" método científico y están por encima del resto de la humanidad debido a sus habilidades intelectuales (Aikenhead 1984; Gagliardi y Giordan 1986; Hodson 1992; Newton y Newton 1992; Fernández *et al.* 2002, apud ADÚRIZ-BRAVO; PUJALTE, 2020, p. 201).

Por tanto, el problema no es que se ajuste a una visión de Ciencia inadecuada, sino que esa visión de Ciencia está estrechamente ligada a formas de ser y estar en el mundo. Esto es, si la visión de Ciencia elitista, racista y excluyente es compartida por un amplio grupo de la sociedad, ¿Cómo podría la Ciencia ser democrática y contribuir a la justicia social y ambiental?

En la formación de profesores de Ciencias, el cuestionamiento sobre la epistemología de los profesores y su relación con las concepciones de la naturaleza de la Ciencia también ha tenido importantes investigaciones asociadas a las visiones de la Ciencia. Una de las más citadas es la de Fernández *et al.* (2002), publicada ya hace más de dos décadas, y en la que se clasificaron las visiones distorsionadas de la Ciencia transmitidas por la enseñanza que se enlistan a continuación: *a) Visión empiroinductivista, ateorica; b) Visión rígida (algorítmica, exacta, infalible...); c) Visión aproblemática y ahistórica (ergo dogmática y cerrada); d) Visión exclusivamente analítica; e) Visión acumulativa, de crecimiento lineal; f) Visión individualista y elitista; g) Visión socialmente descontextualizada* (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002).

Frente a las concepciones de los profesores, Fernández, *et al* (2002) mencionan que: Las concepciones docentes sobre la Ciencia serían, pues, expresión de esa visión común, que los profesores de Ciencias aceptaríamos implícitamente debido a la falta de reflexión crítica y a una educación científica que se limita, a menudo, a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados (p. 484).

Sin duda, la creciente investigación sobre concepciones y visiones de la Ciencia en los profesores ha tenido un gran impacto y muestra la importancia de la formación epistemológica en los profesores para la transformación de prácticas educativas y el diseño curricular. El problema persiste, veinte años después, Adúriz-Bravo y Pujalte (2020) al analizar la imagen social de la Ciencia y los científicos, resaltan que pueden estar coexistiendo dos imágenes de Ciencia en los profesores, una declarativa y otra en la práctica, no homogéneas, esto es:

El problema es que la imagen declarativa de la Ciencia que tienen los profesores no está constituida únicamente por su posicionamiento epistemológico; dicha imagen también incluye creencias sobre la enseñanza de las Ciencias, los alumnos y los objetivos de la educación científica. Casi siempre se constata que la imagen declarativa de la Ciencia que sostienen los profesores es "democrática" e "inclusiva": enuncia explícitamente el objetivo de una educación científica para todos. Pero dicha imagen coexiste en los profesores con lo que llamamos su imagen "enactiva" de la Ciencia, la que ponen en acción en sus prácticas de aula⁵¹ (ADÚRIZ-BRAVO; PUJALTE 2020, p. 212).

⁵¹ The problem is that teachers' declarative image of science is not constituted only by their epistemological positioning; such image also includes beliefs about science teaching, students and aims of science education. It is almost always found that the declarative image of science sustained by teachers is "democratic" and "inclusive": it explicitly states the aim of a science education for all. But such an image coexists in teachers with what we call

A lo largo de esta tesis hemos analizado este problema de la formación epistemológica de los formadores de profesores de Ciencias y nos asomamos a sus concepciones epistemológicas a través de sus discursos sobre la enseñanza de la óptica, por tanto, sería importante resignificar esta problemática en el contexto de la formación de formadores y preguntarnos tal como Allchin (2013) sugiere: *¿Cómo se profundiza en la comprensión de la práctica científica y se ayuda a los alumnos a desarrollar habilidades similares de análisis y reflexión para el ejercicio de la práctica docente y de la ciudadanía crítica?*

Este último aspecto es fundamental en el contexto en el que se inscribe esta tesis, pues como mencionan Aduriz-Bravo y Pujalte (2020), si el objetivo es el de una educación científica con equidad, justicia social y socialmente relevante, es necesario “(1) abordar explícitamente el imaginario social de la Ciencia de forma crítica, y 2) diseñar y aplicar pedagogías que se fundamenten, y presenten a los estudiantes, en una concepción más democrática de la naturaleza de la Ciencia”⁵² (ADÚRIZ-BRAVO; PUJALTE, 2020, p. 202).

En ese sentido, si aceptamos el diagnóstico que se ha desarrollado ampliamente por más de veinte años y reconocemos que *las ideas de los profesores sobre las NdeC están alejadas de las conceptualizaciones recientes y contemporáneas de la filosofía de la Ciencia*, podríamos avanzar en el planteamiento de algunas propuestas en el nivel de formación de formadores.

Esta propuesta se alinea a la de Ciencia integral y se inscribe en los aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia.

6.1.1 La mirada caleidoscópica se nutre de los aportes de la HFSC.

El primer paso para abordar el problema anterior podría ser comprender la constitución de esta visión de Ciencia como un proceso histórico complejo, en el que han intervenido diferentes actores sociales: medios de comunicación, escuela y redes sociales, entre otros. Un proceso que continua y que puede sufrir modificaciones con intervenciones destinadas a educar una mirada funcional, dinámica, flexible y que guíe nuestra intervención como formadores en el mundo: una mirada caleidoscópica de la Ciencia.

their “enactive” image of science, the one put into action in their classroom practices [...] (ADÚRIZ-BRAVO Y PUJALTE 2020, p. 212).

⁵² We adhere to the idea that the currently proclaimed aim of a quality science education for all, with equity and social justice, crucially needs: (1) explicitly addressing the social imaginary of science in a critical way, and (2) designing and implementing pedagogies that are founded on, and present students with, a more democratic conception of the nature of science [...] (ADÚRIZ-BRAVO Y PUJALTE 2020, p. 202).

Aduriz-Bravo y Pujalte (2020) mencionan que el término “imagen” es polisémico y usado en diferentes campos disciplinares haciendo referencia a “*una representación (visual primaria) que se activa en la mente de los sujetos cuando son impulsados a pensar en algo concreto (p. 202)*”. Así, la imagen de Ciencia “más adecuada” ha sido cuestionada, como vimos en el capítulo 2 de esta tesis, al no poder abarcar la complejidad y diversidad que las Ciencias presentan en diversas épocas (Allchin, 2013, Moura, 2021). Aunada a estas críticas, consideramos que enfocarnos en la representación, es decir, en el producto, podría darnos pocos resultados. Por otro lado, pensar la mirada, podría contribuir a la conciencia de la acción del sujeto sobre el mundo. La mirada es definida como una acción de dirigir la “vista” a algo. Es diferente a la visión en tanto está dirigida y aunque se asocia al sentido de la vista, supera a la visión, esto es, *si la visión es un acto pre-personal y general, la mirada es un acto personal y regional*.

Según Villamil (2009) la mirada vista como **proceso cultural de aprendizaje** nos coloca en la posición de videntes-reflexivos. En ese sentido, mirar críticamente es interrogar e interrogarse, es analizar y sintetizar el análisis. Él menciona:

La mirada crítica al igual que todos los actos de mirar, nace en la actitud natural. Pero en primer momento no afirma ni niega la tesis general, ingenua; la interroga. Es un modo de ser en el mundo que rompe con la unidad hombre- mundo, e interroga los dos polos de dicha unidad. El hombre y el mundo. [...] La pregunta hecha por la mirada crítica va orientada hacia dos direcciones: hacia la objetividad de lo visto ¿que veo? y hacia la subjetividad del vidente, ¿quién ve? Hacia el mundo y hacia el ser que hace posible que dicho mundo pueda ser visto (VILLAMIL, 2009, p. 110).

Esta definición de la mirada crítica que recoge elementos de la fenomenología de la percepción es particularmente interesante porque nos invita a pensar en la posibilidad de educar la mirada, toda vez que es un proceso cultural y en la que el sujeto, en este caso, el formador, tiene un papel protagónico.

El desarrollo profesional es visto como un proceso en el que se producen articulaciones teóricas y prácticas para el desarrollo de la práctica pedagógica y, por tanto, es un proceso de formación permanente y continua. Así, el desarrollo profesional de un formador de profesores de Ciencias podría implicar el desarrollo de una mirada caleidoscópica para la enseñanza de las Ciencias.

La mirada caleidoscópica es crítica, compleja, dinámica y situada. Es una mirada con fines de intervención en el mundo, pues se configura para la toma de decisiones públicas y privadas y para potenciar la praxis de los formadores de profesores de Ciencias. Esta se “posa” sobre la Ciencia integral, la Ciencia “leída” y la que se “está haciendo”, para construir preguntas

que nos lleven a la comprensión de la fiabilidad y la autoridad de la Ciencia y la Tecnología en la sociedad, así como el funcionamiento de la práctica científica. Por otro lado, también interroga a los sujetos y su acción en el mundo, en este caso, a los formadores de profesores, pues la reflexión sobre la naturaleza de la Ciencia también podría traer consigo reflexiones aunadas a la identidad como formador de profesores de Ciencias, prácticas educativas y fines formativos. Necesita el contexto como campo visual, tanto educativo como en el que se desarrolla la práctica científica, en la que también se incluyen los procesos de producción, divulgación, comunicación y enseñanza de las Ciencias.

El desarrollo de una mirada caleidoscópica de la Ciencia para el ejercicio de la ciudadanía no es una tarea individual. Así como los estudiantes desde primaria hasta la universidad se beneficiarían de tener asignaturas, propuestas y experiencias que contribuyan a construir esta mirada caleidoscópica, las y los formadores requerimos integrar redes para que esta tarea no sea emprendida como una batalla quijotesca en solitario. La mirada caleidoscópica no está en un sujeto, sino en una comunidad heterogénea de formadores que interactúa, construye, retroalimenta imágenes de las Ciencias y en consecuencia genera diversas formas de organización curricular y de evaluación, selecciona contenido, analiza críticamente lo que se divulga, pero, ante todo, reflexiona sobre su práctica para transformarla constantemente al mirar al otro y reconocer un otro situado, que no siempre es igual. Este aspecto se resalta pues, como mencionan Aduriz-Bravo y Pujalte (2020) citando a Nancy Brickhouse (2013), puede darse el caso que el conocimiento científico a enseñar se haya producido en contextos que están muy distantes de los que viven los estudiantes, lo cual podría ser una dificultad mayor, por tanto, ¿Cómo consideramos esta distancia en nuestra mirada caleidoscópica?

Como se ha mencionado anteriormente, generar imágenes de la Ciencia flexibles, fiables y funcionales en contextos, requiere un movimiento hacia nuevos casos e ideas y adaptados a los contextos de los sujetos. Por tanto, la HFSC tiene un papel fundamental en la educación de esa mirada caleidoscópica. En el capítulo 2 se consideraron los aportes de la HFSC a los profesores de Ciencias, en el que agregamos uno más: La HFSC aporta en la formación de una mirada caleidoscópica de la Ciencia y su enseñanza.

Adúriz- Bravo ha mencionado la poca existencia en el currículo tradicional de formación docente inicial, de una asignatura dedicada a la epistemología de la Ciencia, sin embargo, considera que esto puede subsanarse introduciendo contenidos de NdeC en el área de Didáctica de las Ciencias. *“Esto permitiría, además, completar la componente meta científica con una mirada centrada en la enseñabilidad de las Ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2002;*

Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002)” Es posible que en la formación continua y permanente de los formadores el acercamiento a la HFSC se pueda dar a través de redes de formadores y comunidades de desarrollo profesional. Un ejemplo de este desarrollo es la investigación de García Martínez (2009), también en Izquierdo Aymerich *et al.* (2016), que desarrolla directrices metodológicas y teóricas derivadas de un proceso de formación de profesores de química en el que se constituyó una comunidad de desarrollo profesional, haciendo uso de la historia de la química como elemento dinamizador (GARCÍA MARTÍNEZ, 2009).

Una forma de establecer estas comunidades de práctica y generar una interacción sincera y con fines que se materializan en la práctica podría ser el uso y desarrollo de casos históricos, que como en el caso de la investigación de García Martínez (2009), se muestra potente para la organización. La configuración de la Comunidad de Desarrollo Profesional (CODEP) se dio a través de cinco fases:

(i) identificación de propósitos y selección de contenidos; (ii) selección del tópico y área de la Historia de la Ciencia a estudiar; (iii) diseño de la herramienta de enseñanza/aprendizaje; (iv) implementación y análisis del proceso de aplicación de la herramienta y, (v) reflexión metacognitiva sobre el proceso desarrollado” (IZQUIERDO AYMERICH *et al.*, 2016, p. 47).

Las anteriores fases están en concordancia con el planteamiento de Allchin (2013) para escribir *buenos estudios* de casos para la enseñanza de las Ciencias. A continuación, se recogen algunos elementos para la elección y evaluación de estudios de caso históricos.

6.2 El caleidoscopio didáctico para formadores de profesores de Física.

El caleidoscopio actualmente es considerado un juguete, pero no siempre tuvo este uso. En los inicios del siglo diecinueve fue creado con intenciones artísticas haciendo uso del conocimiento de su creador sobre óptica, particularmente en lo que respecta a lentes, y fue considerado un instrumento filosófico en el que la belleza de la forma y los colores se conjugaban a través de la simetría para generar placer y facilitar el trabajo de artesanos y artistas. Su invento se atribuye a Sir David Brewster (1781-1868), quien es conocido en óptica por el “*ángulo de Brewster*”. Sus trabajos sobre polarización de la luz por reflexión lo llevaron a las primeras ideas sobre este instrumento científico, en 1817 obtuvo la patente y posteriormente, en 1819, publicó “*Un tratado sobre el caleidoscopio*” en el que plasmó sus usos, más allá del lúdico que había adquirido en los dos años en que se masificó su producción y uso. Según Correia (2016, p. 3):

Brewster combinó las palabras griegas Kalos (bello), eidos (forma) y scope (extensión del alcance), que se formularon de forma imprecisa en “Caleidoscopio” y que

incrustaron en la imaginación la idea de lo que era capaz de lograr. Era un objeto que podía transformar cualquier cosa que seleccionara, por muy abstracta y poco atractiva que fuera, en un patrón simétrico estéticamente estimulante.

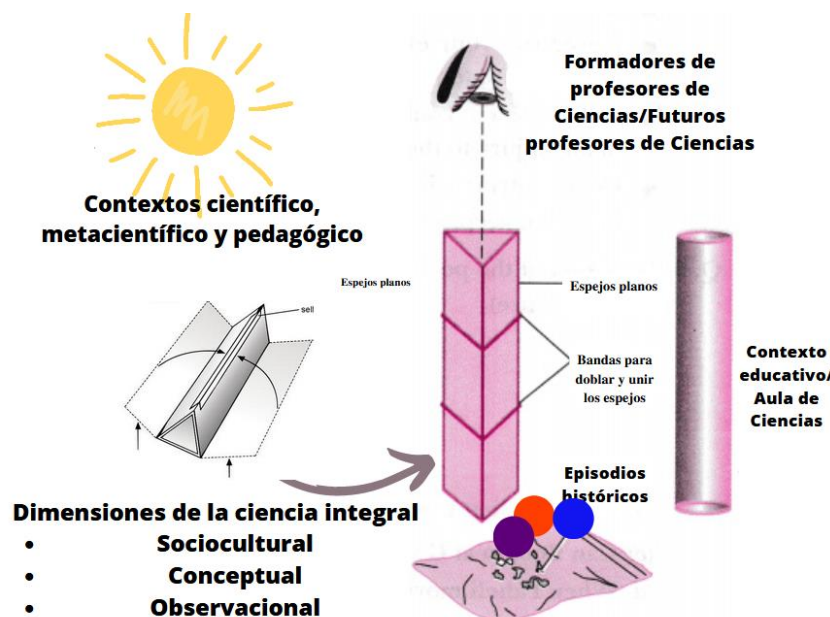
Básicamente un caleidoscopio se compone de espejos, luz y fragmentos de objetos translucidos y/o de colores que al moverse generan patrones simétricos cambiantes, que son posibles de observar a través del otro extremo del caleidoscopio.

Es sobre estos tres elementos que se establece la analogía del caleidoscopio didáctico con el instrumento filosófico, pues la búsqueda es generar imágenes de la Ciencia que estimulen a quien las “vea” para reflexionar sobre el papel de la Ciencia en la sociedad. Como Moura (2021), más allá de generar una imagen “adecuada” de la Ciencia, es posible que el propósito de la educación científica sea abrir una discusión sobre los rumbos de la sociedad, y el papel de las Ciencias en esa sociedad. Es decir, no se trata exclusivamente del objetivo de conocer algo y sí de reconocerse en un papel activo en la construcción de la sociedad a partir de la discusión de sus rumbos, en este caso, una discusión fundamentada en la Historia (MOURA, 2021 p. 1.164).

En primer lugar, este caleidoscopio didáctico como artefacto didáctico se construye con el propósito de generar imágenes de Ciencia y Tecnología que avancen en una comprensión de la Ciencia más simétricas con la historia y los contextos socioculturales y políticos de dónde vienen. Así, la luz solar se análoga con el contexto sociocultural e histórico en el que se usa el caleidoscopio. Los espejos representan las tres dimensiones de la Ciencia integral: *observacional, conceptual y sociocultural* (ALLCHIN, 2013). Los objetos pequeños son aquellas narrativas de la Historia de la Ciencia o episodios históricos que se escogen y se pueden dividir a través de elementos de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología. Y, por último, pero no menos importante es el tubo, que es el análogo del contexto local del aula de clase en el que se usa el caleidoscopio y que permite tanto girar los objetos y generar las imágenes, como que el observador “mire” a través del caleidoscopio. En ese sentido, el caleidoscopio contempla tres contextos: el científico, el metacientífico y el pedagógico para cada uno de los casos.

El formador de profesores es convidado a reflexionar en su praxis sobre a) quien es el sujeto que “mira” y, b) ¿qué escoge poner en la célula del caleidoscopio para generar las imágenes? ¿Cómo lo escoge? Así, este artefacto didáctico podría movilizar la reflexión de/en la práctica y explicita las cuestiones de naturaleza de la Ciencia y tecnología que llevamos a la formación de profesores. A continuación, en la Figura 29 se desarrolla una representación del modelo de Caleidoscopio didáctico para formadores de profesores de Ciencias.

Figura 29 – Representación caleidoscopio didáctico



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta los tres episodios históricos tomados de la Historia de la Óptica astronómica para la constitución de un caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores de Física.

6.2.1 La elección de episodios históricos.

Los episodios históricos en la HFSC y en la NdeC se han perfilado como recursos potentes para la enseñanza de las Ciencias. Algunos trabajos en esta vía muestran el potencial tanto en la educación científica en diferentes niveles como en la formación inicial de profesores (ADÚRIZ-BRAVO, 2009; OLIVEIRA; MARTINS; SILVA, 2020; ALLCHIN, 2013; BONIECK, 2016; CELESTINO; MOURA, 2008). Estos formadores no solo han investigado el papel de los estudios de caso en la formación de profesores, sino que han producido y recopilado ejemplos que se constituyen en recursos y ejemplos para la construcción de nuevos casos. Según Allchin (2013):

El papel de los estudios de caso es proporcionar lecciones sustantivas en la NdeC (NOS), más profundas que el tratamiento superficial de las anécdotas e historias. Por último, estos casos contribuyen a la comprensión de la NdeC (NOS) en entornos reales. Subrayan la necesidad de las habilidades analíticas de la NdeC (NOS), conocidas como alfabetización científica (ALLCHIN, 2013, p. 232).

El estilo de presentación de los estudios de caso difiere de acuerdo con el autor y sus objetivos, sin embargo, Allchin (2013) considera tres aspectos esenciales a la hora de evaluar estudios de caso que involucren aspectos de la Historia de la Ciencia y que puedan servir como

vehículos para la enseñanza de cuestiones asociadas a la NdeC. Algunas de las preguntas asociadas a estos aspectos son: *¿involucran efectivamente a los alumnos en una reflexión fructífera sobre la NdeC (NOS), en el espíritu del aprendizaje por investigación y de la Ciencia en construcción? ¿expresan auténtica NdeC, o -como tantos laboratorios de libros de cocina y mitos populares- algunas NdeC de Ciencia escolar son imaginadas o artificiosas?*

La primera pregunta sobre los estudios de caso es todo un reto, pues implica que el diseño tenga en cuenta a quién va dirigido y qué elementos podrían ser sustanciales para involucrar a una persona en la construcción de su propio aprendizaje. Allchin (2013) considera potente la indagación para que esta se refiera tanto a los conceptos científicos como a la NdeC. En ese sentido, los problemas planteados pueden ser abiertos para fomentar la reflexión, sin presuponer una respuesta “correcta” a la que hay que llegar para satisfacer al profesor. Lo ideal es que el caso, en el que la Historia de la Ciencia puede brindar un contexto motivador y/o cuestionamientos de la NdeC, promueva problemas y/o preguntas que surjan como decisiones y opciones que fluyen en la comprensión de este, pues según Allchin (2013, p. 23) estos “*son paralelos a los tipos de preguntas sobre la fiabilidad de las afirmaciones científicas o la conducta de la Ciencia que los estudiantes encontrarán como consumidores y ciudadanos en la sociedad actual.*”

La segunda característica es denominada NdeC e Historia de la Ciencia auténticas y aborda la segunda pregunta asociada al reto de acercar a la práctica científica a las personas que los estudian, sin poner como fin último la NdeC. Allchin (2013, p. 235) menciona: “Los estudios de caso de NdeC (NOS) deben reflejar la práctica científica real. Pueden basarse en la historia, en la investigación contemporánea o en la propia experiencia investigadora del alumno, o en todo ello combinado”.

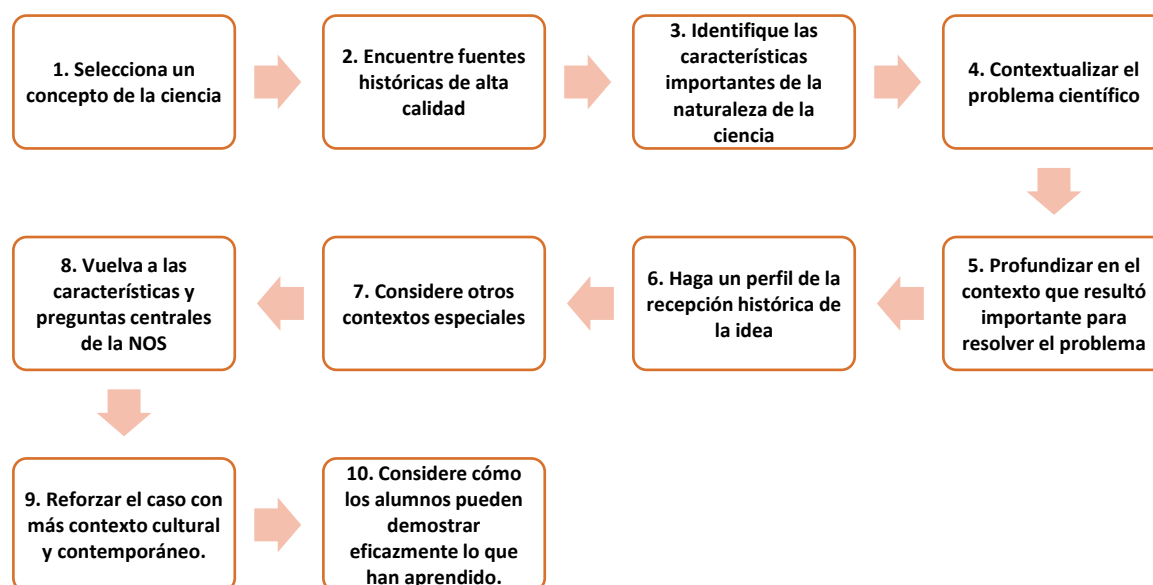
Esto requiere que la NdeC este contextualizada y surja como un problema para el estudiante, por lo cual, un caso de la Ciencia auténtico tiene una potencialidad para el acercamiento a la práctica científica. Para lograr esto, es necesario que el estudio de caso tenga una idoneidad en el tratamiento de los aspectos históricos, filosóficos y sociológicos, evitando distorsiones, simplificaciones y/o mitificaciones. El propio Allchin (2013) advierte que, para que el caso sea auténtico, sería preferible que la solución no estuviese ampliamente difundida, en ese sentido, *los casos menos famosos pueden ser más apropiados para el aprendizaje de la NdeC (NOS).*

Una última característica que también es importante a la hora de evaluar estudios de caso para la enseñanza de la NdeC es: la relación integral de las habilidades del proceso

científico, la reflexión sobre la NdeC y la enseñanza de las Ciencias, esto es, no es posible disociar estos tres elementos en una perspectiva de la Ciencia integral.

Por último, Allchin (2013) nos sugiere algunos elementos a tener en cuenta a la hora de escribir nuestro propio estudio de caso. Estos elementos se muestran en la Figura 30.

Figura 30 – Elementos a considerar en la escritura de un caso histórico (narrativa)



Fuente: Elaboración propia.

Estos elementos son tenidos en cuenta para la escritura de los tres estudios de caso para la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Ciencias.

6.2.2 La construcción de narrativas y la mirada caleidoscópica- El dispositivo analítico para la recontextualización de los textos originales

Las narrativas en la enseñanza de las Ciencias sufren una disminución a lo largo de la línea temporal escolar. Así, al llegar a la formación universitaria su presencia es fantasmal. Particularmente, en la formación de profesores de Ciencias poco aparecen para la enseñanza y el aprendizaje de y sobre la Ciencia. Esta sentida necesidad ha sido estudiada y puesta en relieve en trabajos desarrollados por Oliveira, Martins y Silva (2021), Oliveira, Silva y Martins (2018) y Chion y Adúriz-Bravo, (2014) entre otros, que reconocen el potencial de la narrativa en la enseñanza de las Ciencias y particularmente en la formación inicial de profesores. Justamente, (Izquierdo-Aymerich (2014) apud (ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016) menciona que las narrativas pueden constituirse como “auténticos vehículos de conocimiento” adecuados a diversas disciplinas, muy especialmente a aquellas que modelizan fenómenos con

complejidades históricas y causales. Así mismo, Adúriz-Bravo y Revel Chion, (2016, p. 693) también consideran que pueden ser un vehículo potente para enseñar sobre la llamada NdeC, al contribuir en la construcción de imágenes de Ciencia contextualizadas y actualmente relevantes (p. 695), además de mejorar la motivación y memorabilidad del texto. Así mismo, estos autores coinciden con “Bruner (1996) en que mientras los argumentos que se elaboran desde el modo paradigmático convencen por su verdad, los relatos del modo narrativo convencen por *“su semejanza con la vida, su verosimilitud”* (ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016, p. 698). Específicamente en el caso de la formación inicial docente afirman que:

En el caso específico de la formación del profesorado de Ciencias, [...] se sumarían las de proveer metodologías específicas para la tarea docente, modelar valores acerca del enseñar, ayudar al profesorado novel a construir conocimiento profesional, facilitar puertas de acceso a la presentación de contenidos multidisciplinares y proporcionar un cuerpo robusto de nociones de naturaleza de la Ciencia que serán objeto de *enseñanza* (HADZIGEORGIOU, 2016; KLASSEN; FROESE- KLASSEN, 2014; REVEL CHION; MEINARDI; ADÚRIZ-BRAVO, 2013 apud ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016, p. 692).

Avraamidou y Osborne (2009 apud ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016, p. 694) definen la narrativa como una cadena de eventos conectada entre sí, con un inicio, desarrollo y final, ordenados temporalmente y *“relatados en tiempo pasado, y la presencia de “agentes”* – que se corresponden ya sea conectores, ya con “entidades” no humanas que hacen algo”. Santamaría Santigosa y Ramírez (1998 apud ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016, p. 698) consideran la narración como un modo de funcionamiento cognitivo con la cual los sujetos construyen sentidos originales al identificarse-reflejarse en ellas. Esto también se relaciona con que ellas puedan ejercer un efecto motivador pues contiene elementos psicológicos, históricos, políticos, económicos, morales, etc., que podrían influenciar al lector.

Frente a las características de la narrativa, Adúriz-Bravo y Revel Chion (2016, p. 694) presentan algunas, enfocando tanto en sus vínculos con el pensamiento narrativo, como en las relación con diferentes tipologías textuales que se desarrollan en el aula de clases de Ciencias: argumentativo, expositivo. Una de las principales propiedades del formato narrativo que mencionan es que es “inherentemente secuencial”. Asimismo, otra característica que sobresale es que su estructura esta “atravesada por la presencia de miradas personales, psicológicas, históricas, culturales, ideológicas, políticas, económicas, etc., de parte de y acerca de los agentes incluidos en la narración” (ADÚRIZ-BRAVO; REVEL CHION, 2016, p. 695).

Esta breve caracterización de las narrativas muestra su potencial para la formación de profesores, que pretendemos extender a los formadores de profesores de Ciencias. Teniendo en cuenta lo anterior, las narrativas se constituyen en esta tesis en la forma cómo se construyen los

casos históricos escogidos para componer el caleidoscopio didáctico. En ese sentido, construir narrativas para la formación inicial y continua de profesores, podría contribuir a una mirada caleidoscópica que se proyecta sobre el currículo y genera una verdadera incorporación de la HFSC en las aulas.

6.3 El caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la Óptica en la Formación inicial de profesores de Física

La propuesta del caleidoscopio didáctico tiene como objetivo el fortalecimiento de criterios y la explicitación/ puesta en aula de la selección e implementación de propuestas en los que se vincule elementos de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia y la Tecnología, a través de tres casos ejemplares del siglo XIX y XX, que son: a) el trabajo experimental de Fraunhofer que pone en situación los fines de la práctica experimental, el papel de las habilidades manuales en la obtención de resultados experimentales, las relaciones entre el conocimiento artesanal y el conocimiento científico; b) el problema abordado por Garavito que tiene un interés especial para la enseñanza de la Física y la Astronomía desde el análisis del fenómeno de la aberración de la luz como un argumento en favor del movimiento de la Tierra, las cuestiones de la naturaleza de la Ciencia asociada a la comunicación entre investigadores, al acceso a publicaciones y posibles impactos en los programas científicos y universitarios de la época en Colombia y c) el trabajo de Antonia Maury sobre clasificación estelar y las dificultades enfrentadas para su reconocimiento.

Los tres casos escogidos tienen la intención de propiciar discusiones sobre las concepciones de las relaciones entre Ciencia y tecnología, algunos elementos sobre la investigación en Física desarrollada en Colombia en el inicio del siglo XX y la comunicación con la comunidad internacional científica de la época y, por último, reflexiones sobre las brechas de género en la Ciencia, constituyendo un especie de caleidoscopio didáctico a través del cual se generan imágenes de la naturaleza de la Ciencia y la Tecnología, y análisis de fenómenos físicos de una manera más apelativa e integrada.

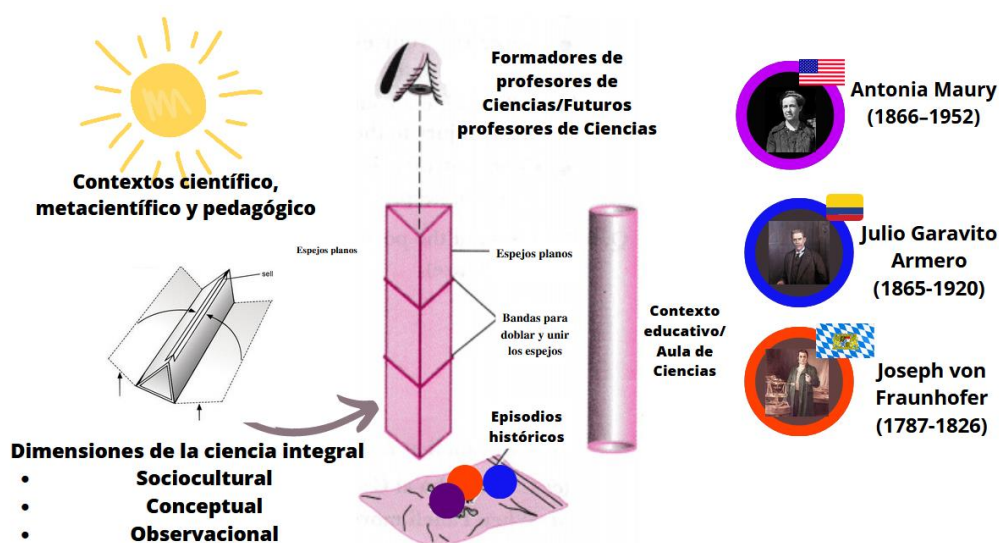
El caleidoscopio didáctico se constituye de la multiplicidad de imágenes que son posibles de obtener con los giros a partir de narrativas producidas sobre episodios históricos ubicados en diferentes contextos, que pueden traer discusiones relevantes y vigentes para la formación inicial de profesores, en especial porque la multiplicidad de imágenes ultrapasa las visiones simplificadas de la Ciencia y Tecnología. Como menciona Adúriz-Bravo (2014):

[...] al trabajar con los profesores, podría ser una estrategia especialmente fructífera establecer una analogía entre el razonamiento científico y otras actividades destinadas

a la resolución de rompecabezas o misterios y que hacen uso de patrones abductivos; entre ellas, el pensamiento detectivesco, médico, forense y "chismográfico" (es decir, el de los jardines) parecen de máximo interés. En todos estos campos, una colección parsimoniosa de "hechos" reunidos bajo la guía de un modelo sólido puede utilizarse como premisas de un proceso de razonamiento lógicamente "amplio", que "asciende" a conclusiones generales, abstractas y audaces con un pretendido poder explicativo⁵³ (ADÚRIZ-BRAVO, 2014, p. 174).

La Figura 31 muestra una representación de la constitución del caleidoscopio didáctico.

Figura 31 – Caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la Óptica



Fuente: Elaboración propia.

6.3.1 I caso: Producción de lentes acromáticas y líneas de Fraunhofer. Un caso ejemplar de las relaciones Ciencia y Tecnología.

El primer estudio de caso histórico que desarrollamos hace parte de la historia de la tecnología. Como hemos mencionado anteriormente, las reflexiones sobre la tecnología difícilmente aparecen en la formación inicial y continua de profesores de Ciencias, contrastando con la importancia que tienen para la toma de decisiones públicas y privadas por parte de los ciudadanos. En ese sentido, objetivamos elaborar el estudio de caso sobre el trabajo de Fraunhofer para la producción de lentes acromáticas y el desarrollo de las líneas de absorción o también llamadas líneas de Fraunhofer, como técnica de medición de calidad.

⁵³ Thus, when working with teachers, it could be a particularly fruitful strategy to draw an analogy between scientific reasoning and other activities that are aimed at puzzle-or mystery-solving and make use of abductive patterns; among those, detective, medical, forensic, and 'gossipographic' (i.e. garden-variety) thinking seem of utmost interest. In all these fields, a parsimonious collection of 'facts' gathered under the guidance of a strong model can be used as premises of a logically 'ampliative' reasoning process, which 'ascends' to general, abstract and audacious conclusions with intended explanatory power (ADÚRIZ-BRAVO, 2014, p. 174).

Este caso es particularmente importante para la formación de profesores de Ciencias, a nuestro modo de ver, porque: 1) Representa un hito en la historia de la Ciencia, que dio lugar al desarrollo de un nuevo campo de estudio: la espectroscopia y tuvo implicaciones en diversos campos como la química y la cosmología. 2) Se ejemplifican las relaciones entre tecnología, técnica y sociedad, resaltando el papel de los contextos sociohistóricos en el desarrollo de la práctica tecnológica 3) ejemplifica la separación entre Tecnología y Ciencia, así como algunas diferencias, asociadas a la práctica tecnológica vs la práctica científica, alejándonos de visiones de contención de la tecnología en la Ciencia 4) podemos explorar el papel de diversos saberes, entre ellos, manuales, en la producción y estabilización de fenómenos ópticos 5) involucra conceptos de la óptica geométrica que están en la frontera con la óptica aplicada, en este caso, el fenómeno de la dispersión es de vital importancia, en contraste con la cantidad de tiempo que se dedica a la refracción de la luz en la enseñanza de la óptica 6) dado el carácter pragmático e interdisciplinar de la racionalidad tecnológica, es posible establecer vínculos con otros saberes, particularmente con Química y Astronomía.

A continuación, se presentan algunos elementos de la naturaleza de la tecnología (NdeT) que objetivamos desarrollar en este estudio de caso histórico. Sin embargo, al finalizar la narración, se amplían los recursos usados y los focos didácticos de cada apartado.

Cuadro 15 – Planeación de la narrativa “La técnica para acercarnos a las estrellas: las líneas de Fraunhofer y la producción de lentes acromáticas” por dimensiones de la Ciencia integral

La técnica para acercarnos a las estrellas: las líneas de Fraunhofer y la producción de lentes acromáticas			
NARRATIVA	OBSERVACIONAL	SOCIOCULTURAL	CONCEPTUAL
La industria del vidrio y los problemas técnicos de su fabricación.	Características del vidrio óptico.		• Diferencia entre los fenómenos de dispersión y refracción de la luz. • Aberración cromática y esférica.

La técnica para acercarnos a las estrellas: las líneas de Fraunhofer y la producción de lentes acromáticas			
NARRATIVA	OBSERVACIONAL	SOCIOCULTURAL	CONCEPTUAL
Las lentes se dirigen a las tierras: la oficina topográfica y de registro de propiedades en Baviera		Contexto sociohistórico del desarrollo del vidrio óptico. Relaciones Tecnología-Ciencia-Sociedad	
La financiación en el desarrollo de la tecnología-construcción de telescopios		Las necesidades económicas y la financiación de la tecnología en los proyectos de dominación del mercado	
La técnica de las líneas de Fraunhofer y la dispersión de la luz para evaluar la calidad de las lentes	Experimentación-estabilización del fenómeno de absorción. Relación entre las habilidades manuales y la producción de resultados		
Lo público y lo privado en la práctica tecnológica de precisión óptica		Relación entre la producción científica y la industria	

Fuente: Elaboración propia.

La técnica para acercarnos a las estrellas: las líneas de Fraunhofer y la producción de lentes acromáticas.

En muchos casos la técnica determina la calidad del producto. Este es el caso de los vidrios ópticos y las lentes que produjo Joseph Von Fraunhofer a inicios del siglo XIX en Baviera (Alemania) y que posicionó tanto a su empresa y a su país como los productores de instrumentos ópticos de calidad por excelencia en esa época. Dada la importancia de esta cuestión cabe preguntarnos ¿En qué consistía esta técnica especial de producción de vidrios ópticos y lentes? A continuación, nos adentramos en los experimentos de Fraunhofer para la obtención y evaluación de vidrios ópticos, que pusieron a Baviera en el mapa científico y a Neptuno en el sistema solar.

La industria del vidrio óptico y los problemas técnicos de su fabricación.

El vidrio es uno de los materiales más antiguos. Ha estado presente en nuestras culturas, junto con la cerámica, por más de dos mil años. Su uso se popularizó en el siglo XVII para la conservación y almacenamiento de alimentos, sin embargo, desde la época romana ya se utilizaba como ornamento en casas y templos.

En la naturaleza encontramos vidrio “natural” como la obsidiana, que fue usada por egipcios, mayas, aztecas, entre otros, para crear herramientas, armas y ornamentos, luego descubrimos la forma de fabricarlo básicamente conjugando arcilla- arena y temperaturas por encima de los 1700°C y su uso se extendió desde el medio oriente a occidente.

Durante la edad media, los venecianos tuvieron el monopolio del vidrio y eran conocidos por la calidad excepcional de su trabajo, así como por mantener a sus vidrieros incomunicados del mundo en la isla de Murano para conservar su secreto sobre la producción y manipulación del vidrio de alta calidad, por lo cual, tener objetos de vidrio y más de vidrio veneciano era sinónimo de clase o de una vocación a Dios, cómo era el caso del clero.

El uso extendido de instrumentos ópticos en artillería, astronomía y topografía, desde el siglo XVII generó una mayor demanda de vidrio óptico. Su fabricación, nada fácil por la calidad que requieren, acarrea algunos problemas para los vidrieros y ópticos, cómo: 1) la combinación, elección y proporciones óptimas de materiales: arena, cal (óxido de calcio), sosa (óxido de sodio) y plomo que eran los materiales más comunes en la producción de vidrios. Los vidrieros, después de mucho ensayo y error consiguieron exponer la arena a menos temperatura para fundirla combinándola con piedra caliza, por lo cual facilitaba el proceso de fusión, pero a veces generaba una mezcla inconsistente y deficiente.

2) Cómo obtener vidrios sin burbujas, estrías y defectos, pues los gases que libera la mezcla en el proceso de fusión generan burbujas que salen a la superficie del vidrio y afectan la transparencia. Así mismo las técnicas de mezclado eran un rompecabezas pues podían contaminar la mezcla y tenían los mezcladores que resistir las altas temperaturas y generar una mezcla homogénea con insumos que tenían diferentes densidades.

3) Cómo eliminar la aberración cromática y esférica que generan una imagen distorsionada y colorida del objeto en el telescopio. Este problema fue abordado por el propio Newton, que supuso que una combinación de dos lentes de índices de refracción diferentes podría ayudar a resolver el problema práctico, pero que al final optó por un telescopio de reflexión.

4) Cómo generar el máximo poder dispersivo y refractivo de una lente, que está asociado a la menor dispersión de la luz blanca al pasar por el vidrio y un mayor índice de refracción, lo que hace que la lente pueda ser menos gruesa.

Y, por último, 5) cómo probar la calidad de los vidrios ópticos obtenidos, antes del proceso de corte y pulimento de las lentes.

Estos cinco problemas fueron explorados tanto por vidrieros como por científicos en diversas regiones de Europa, principalmente en Alemania, Bohemia, Venecia, Inglaterra y España, en la búsqueda de perfeccionar la técnica de producción de vidrios ópticos y posteriormente la de lentes para instrumentos ópticos.

En el siglo XVI los ingleses produjeron vidrios en los que substituyeron la cal y la sosa, por óxido de plomo y potasa, así como la arena común por pedernal, que es un tipo de cuarzo con gran contenido de silicio puro, dando lugar a un nuevo tipo de vidrio llamado Flint, con propiedades diferentes a los vidrios producidos con cal y sosa, denominados Crown. Estos vidrios Flint se distinguían de los anteriores por ser más densos, brillantes y transparentes.

Haciendo uso de esta nueva producción de vidrio, en 1755, el principal óptico de Londres de la época, John Dollond (1706-1761) produjo un telescopio acromático, cortando una lente convexa de un prisma de vidrio Crown y una lente cóncava de un prisma de vidrio Flint. Rápidamente se convirtió en uno de los más importantes fabricantes de telescopios, lo que permitió suministrarlos a países de toda Europa, recibiendo menciones de honor como la membresía a la Royal Society of London. Como podemos ver, los problemas 1, 3 y 4 estaban casi solucionados. Sin embargo, los problemas 2 y 5 eran especialmente sentidos para los ópticos, pues ellos no producían sus propios vidrios. En ese entonces, la producción del vidrio la hacían artesanos dedicados durante generaciones a trabajar en la producción de este material, los ópticos, que tenían conocimientos básicos de óptica geométrica eran los encargados de darles forma y pulir las lentes, mientras que los científicos, astrónomos y navegantes eran sus usuarios. Los mejores vidrieros que podían fabricar discos ópticos de más de 4 pulgadas de diámetro eran muy solicitados y los discos de mayor tamaño solían tener burbujas o estrías, lo cual hacía que no sirvieran para fines ópticos.

Las lentes se dirigen a las tierras: la oficina topográfica y la de registro de propiedades en Baviera

Después de la revolución francesa (1789-1799) y en el marco de las guerras napoleónicas (1803-1815), Baviera apoyó a Francia en la guerra contra Austria. El rey

Maximiliano I era un francófilo que se había formado en la Francia de la Ilustración y que soñaba con que Baviera alcanzara la grandeza de Francia. La alianza con los franceses les trajo importantes avances en economía al establecer una red para asuntos políticos y científicos. Los franceses eran conocidos por sus topógrafos en el mundo y sus conocimientos sobre geodesia, por lo cual la transferencia de tecnología que se dio de Francia a Baviera fue a partir de la Oficina de Topografía Francesa que se instaló en Baviera en 1800, con topógrafos, ingenieros y geógrafos que delimitaron el nuevo mapa topográfico y astronómico. Después de que los topógrafos franceses partieron a nuevos territorios ocupados, el Rey Maximiliano I reestructuró la oficina francesa topográfica en Baviera manteniendo la estructura organizacional que los franceses habían determinado y reduciendo el personal, también se creó la oficina de Registro de Propiedad en 1801, de la mano de uno de sus consejeros, el empresario Joseph von Utzschneider (1763-1840). Estas dos instituciones actuaban en conjunto. El fin de estos dos institutos era adelantar un proyecto de agrimensura para determinar límites de las propiedades y en consecuencia ajustar los impuestos a sus súbditos para financiar sus reformas en el país. En estas mediciones de los terrenos se usaban instrumentos ópticos como teodolitos, telescopios y círculos de repetición, este último precisa de dos telescopios montados en un eje compartido con escalas para medir el ángulo entre los dos, por lo cual se hacía necesario producir lentes de buena calidad.

Siguiendo las líneas de la revolución francesa, el rey Maximiliano I declaró en Baviera el fin del feudalismo, la esclavitud y la libertad de culto, lo que lo llevó a la secularización de los monasterios que pasaron a manos del estado, por lo cual los monjes benedictinos asentados en Baviera perdieron sus propiedades y pronto se vieron obligados a trabajar para sobrevivir. Estos monjes se rigen hasta hoy, por la regla de San Benito, en la que se fijan reglas para el espíritu que incluyen la oración, el trabajo manual, el estudio y la ausencia de ocio, por lo cual en estos monasterios era usual encontrar monjes con bastos conocimientos en Física, Matemáticas, Astronomía y Óptica, Arte y producción de vidrio. El trabajo con el vidrio era particularmente cuidado por dos razones: una religiosa, pues consideraban que el vidrio era una manifestación de la luz divina y esta de la verdad, así que su producción los acercaba a la comprensión de Dios y de sus relaciones con el hombre, por lo que durante milenios cultivaron técnicas y conocimientos para el corte, pulido y fabricación del vidrio con el que adornaban vidrieras en catedrales. Así mismo, una razón económica, fabricaban vidrieras para adornar las casas de aristócratas y propiedades del estado, por lo cual cada monasterio se veía beneficiado

financieramente. Esto hizo que ampliaran su vida en comunidad al enseñar conocimientos prácticos y de oficios a jóvenes y contratar artesanos locales.

Estas condiciones beneficiaron el proyecto de las oficinas topográfica y de registro de propiedades, pues estos monjes, altamente capacitados, fueron contratados en estas instituciones, para usar sus conocimientos prácticos y artesanales, que durante milenios se habían refinado y mantenido en secreto para el usufruto de las comunidades benedictinas.

Otra condición que contribuyó al éxito de la empresa emprendida por el rey Maximiliano I fue el bloqueo a los vidrios provenientes de Gran Bretaña, por lo cual, Baviera tuvo que producir sus propios vidrios ópticos y mejorar sus técnicas para suplir la nueva demanda que se extendió a toda Europa. Se abrió entonces un mercado para la producción local de vidrio óptico. Para suplir la demanda de vidrieros y ópticos, Maximiliano y Utzschneider recorrieron Baviera, Bohemia y los cantones suizos, buscando los mejores artesanos, justamente en los cantones suizos, fue donde encontraron al famoso vidriero llamado Pierre Louis Guinand (1748-1824).

La financiación en el desarrollo de la tecnología y la formación de Fraunhofer.

Joseph Fraunhofer nació el 6 de marzo de 1787 en Straubing- Baviera, al norte de Munich. Fue el undécimo hijo de una familia en la que padre y abuelo fueron vidrieros y la madre de Fraunhofer provenía de una familia de vidrieros con una larga tradición desde el siglo XVII. A la corta edad de once años quedó huérfano de madre y al año siguiente de padre. Este último se cree que falleció por la inhalación de los vapores tóxicos que se liberan en la producción del vidrio. Desde muy pequeño trabajó con su padre y tras su muerte, se hizo aprendiz del vidriero de la corte en Múnich, Philipp Anton Weichselberger, fabricante de espejos y cortador de vidrio decorativo. En 1801, con catorce años, sufrió un grave accidente en la casa de su maestro. Un incendio y posterior derrumbe lo dejaron atrapado entre las ruinas durante horas. El propio príncipe Maximiliano IV después rey Maximiliano I estuvo en el lugar del siniestro y se enteró de su historia. Afortunadamente Weichselberger y Fraunhofer sobrevivieron y éste último pasó a ser el protegido del rey y de su consejero, el empresario Joseph von Utzschneider.

La suerte de Fraunhofer de encontrar dos protectores con tanta influencia fue rápidamente bien aprovechada pues en los dos años que trabajó con Weichselberger, éste no le permitió asistir a la escuela y le proporcionaba un duro trato. El joven Fraunhofer recurrió a Utzschneider a través de una carta en donde le expuso sus deseos de estudiar, quien

rápidamente lo recomendó en el recién creado Instituto Matemático- Mecánico (1804) en donde se fabricaban instrumentos y máquinas ópticas y que estaba a cargo del renombrado inventor alemán y diseñador de instrumentos científicos Georg von Reichenbach (1771-1826). En este lugar Fraunhofer recibió instrucción para rectificar lentes y formarse en técnicas de pulido y producción de instrumentos ópticos. Mientras estaba bajo la tutoría de Weichselberger, Fraunhofer también estudió con el óptico bávaro Joseph Niggel (1792-1842) entre 1801 a 1804, que se había formado con los monjes benedictinos en el monasterio de Rott, por lo cual tenía conocimientos en óptica geométrica.

Utzschneider era un visionario y conocía la importancia de formar talento local. Este importante empresario y político radicado en Múnich, creó la oficina de registro de propiedades y el instituto Matemático- Mecánico. Posteriormente financió la creación del Instituto Óptico en 1807 y la compra del monasterio donde se instaló la empresa pionera en la fabricación de instrumentos ópticos que contaba con tres cabezas: Reichenbach, que se encargaba de la fabricación de instrumentos y de los aspectos técnicos, Utzschneider que financiaba y supervisaba los intereses empresariales del Instituto y Liebherr que enseñaba a los jóvenes y ejecutaba los planes de Reichenbach.

Veinte años después de la creación de estos institutos el propio Utzschneider mencionó:

-[Reichenbach y Liebherr] me expresaron su deseo de ampliar el ámbito del taller y de crear un instituto ordinario de instrumentos y máquinas grandes y pequeñas, como los que se fabrican en Inglaterra. No me negué a llegar a un acuerdo con ellos no sólo por esta razón, sino también porque un instituto de este tipo podría producir jóvenes mecánicos cualificados, de los que Baviera carece.

Como vemos, Utzschneider tuvo un importante papel en la formación de Fraunhofer, pues en 1806 les encargó a dos de sus más importantes colaboradores, el monje benedictino Schiegg, profesor de Matemáticas, Física, Astronomía y experiencia en Topografía, así como al experimentado topógrafo prusiano Soldner, la educación teórica de Fraunhofer en Óptica, Física y Matemáticas. También le proporcionó a Fraunhofer libros de texto sobre óptica que fueron ávidamente estudiados y que al final lo llevaron a escribir un artículo sobre espejos hiperbólicos en comparación con los parabólicos para la producción de imágenes en telescopios e inventar una máquina para pulir lentes y eliminar la aberración esférica.

En 1807, Fraunhofer volvió a trabajar con Niggel en el Instituto de Óptica que se instaló en el antiguo monasterio benedictino de Benediktbeuern, a unos 55 kilómetros al sur de Múnich

y cerca a los Alpes suizos. Cuando Utzschneider lo compró, ya contaba con un equipo de ópticos y vidrieros excepcionales, por ejemplo, el vidriero suizo Pierre Louis Guinand (1748-1824) que era particularmente conocido por la técnica utilizada para producir vidrio Flint.

A los diecinueve años de edad, Fraunhofer había aprendido de los mejores vidrieros, ópticos, fabricantes de instrumentos ópticos y profesores de Matemáticas y Física los aspectos teóricos y prácticos de la producción de vidrios ópticos y la fabricación de instrumentos. A los veintidós años, Reichenbach y Utzschneider le nombraron director de la fábrica de vidrio de Benediktbeuern, que pertenecía a la empresa. Fraunhofer puso en marcha sus exploraciones para obtener vidrio óptico de altísima calidad, con ingredientes extremadamente puros, técnicas especiales de agitación para garantizar la homogeneidad y un método novedoso para pulir las lentes de forma perfectamente simétrica. Posteriormente, en 1814, a los veintisiete años, firmó un contrato con Utzschneider, para convertirse en el director de los vidrieros del Instituto de Óptica, luego sería su director general.

Fraunhofer era hijo de un artesano, toda su vida estuvo asociada al vidrio, pero el favor de un empresario visionario y del rey Maximiliano I le garantizaron la formación necesaria para explorar sus capacidades como vidriero-óptico-fabricante de instrumentos ópticos. Una formación durante ocho años entre talleres y oficinas, que posteriormente también lo llevaría a la Universidad, esta vez en calidad de profesor de óptica.

La técnica de las líneas de Fraunhofer y la dispersión de la luz para evaluar la calidad de las lentes

La calidad de las lentes es un problema fundamental en la astronomía. En la época de Fraunhofer, astrónomos de la talla de William Herschel (1738-1822) se dieron a la tarea de escribir manuales ópticos para guiar a los ópticos en la construcción de telescopios, intentando mediar entre la óptica geométrica necesaria para la construcción y las complejas fórmulas matemáticas que se multiplicaban en los artículos académicos. Volvamos al problema de la aberración cromática en lentes: Al pasar un rayo de luz blanca a través de un medio transparente (agua, prisma, lente de vidrio), la luz se dispersa y cada color toma una dirección, con lo cual convergen en diferentes focos y se genera una imagen coloreada y poco nítida. Para medir el poder de refracción de un lente, se utilizaban las desviaciones de los colores en los extremos, esto es, el azul y rojo usualmente, pero era difícil determinar los límites de cada color, pues en muchos casos estos se mezclaban. Al cambiar el medio transparente, se observaba que el espectro no era el mismo, es decir, las posiciones de los colores no se conservaban siempre. Se

necesitaba un método preciso para determinar los poderes de dispersión y refracción en cada medio.

El químico y físico inglés William Hyde Wollaston (1766-1828), contemporáneo a Herschel, Young y Faraday, fue quién publicó en junio de 1802, doce años antes que Fraunhofer, un artículo titulado “*Un método para examinar las potencias de refracción y de dispersión, por reflexión prismática*” en el que mostraba un instrumento para calcular el poder de refracción de algunas sustancias. Construyó un prisma rectangular hecho de vidrio Flint bajo el que se ponía la sustancia a examinar y una escala, usando los colores azul y rojo y con esto fue el primero en registrar cinco líneas oscuras, sin embargo, considero que se trataban de franjas que separaban los colores rojo, verde, amarillo, azul y violeta.

Doce años después, entre (1814-1815) Fraunhofer trabaja sobre este problema y en 1817 publica el artículo titulado: *Determinación de los índices de refracción y dispersión de diferentes tipos de vidrio en relación con la perfección de los telescopios acromáticos* en Annalen der Physik, en el que muestra su método para calibrar lentes acromáticas a través de las líneas oscuras del espectro solar. Él inicia el artículo de la siguiente manera:

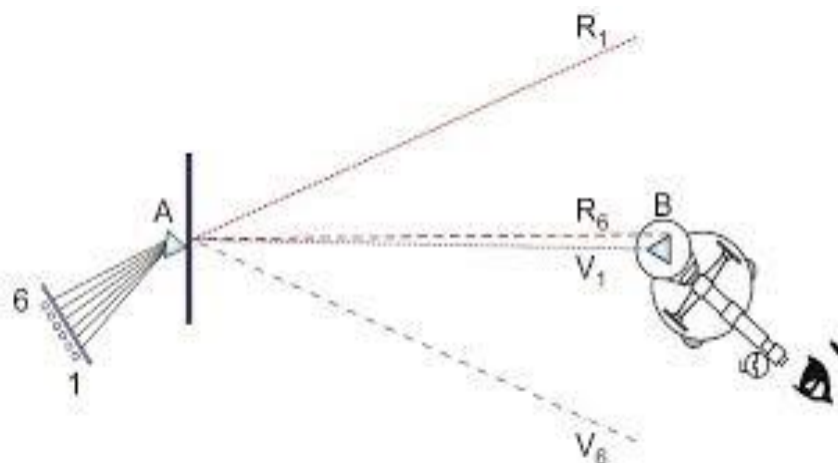
Al calcular telescopios acromáticos, se asume un conocimiento preciso del poder de refracción y la dispersión del color de los tipos de vidrio que se utilizan. Los medios que se han utilizado hasta ahora para determinar ambos dan resultados que a menudo difieren considerablemente, y por esta razón, a pesar de toda la precisión en el cálculo, la perfección del objetivo acromático permanece siempre dudoso. (FRAUNHOFER, 1817)

Fraunhofer había experimentado con diferentes vidrios ópticos y métodos para su producción, al igual que con lentes de diferentes tipos de vidrio y conocía el método de los colores extremos para determinar los poderes de dispersión y refracción en lentes. Por tanto, en el apartado de *Procedimientos y experimentos con luz de lampara*, él describe el problema que intenta solucionar de la siguiente manera: *Como es sabido, la dispersión restante se debe a que surge del hecho de que para los rayos de diferentes colores en ambos tipos de vidrio, la relación de dispersión no es la misma. Por ejemplo, si la dispersión de los rayos rojos en el vidrio de Crown está relacionada con la dispersión de los rayos rojos en Flint como 10:19, los rayos violetas en estos mismos tipos de vidrio pueden tener una relación de proporción 10:21, por lo tanto, no veo que toda la dispersión de color se pueda deshacer por completo. Sería muy ventajoso si se pudiera encontrar en cada tipo de vidrio el poder de dispersión para cada color*

Así, Fraunhofer plantea un problema técnico que requiere fijar un patrón para establecer medidas más precisas de la dispersión de la luz y la refracción.

Para el experimento de las 6 lámparas es muy importante el espacio que tiene en el antiguo monasterio, veamos porque: (Véase Figura 32).

Figura 32 - Representación montaje experimental de Fraunhofer. Experimento de las seis lámparas



Fuente: Tomado de (FRAUNHOFER, 1817).

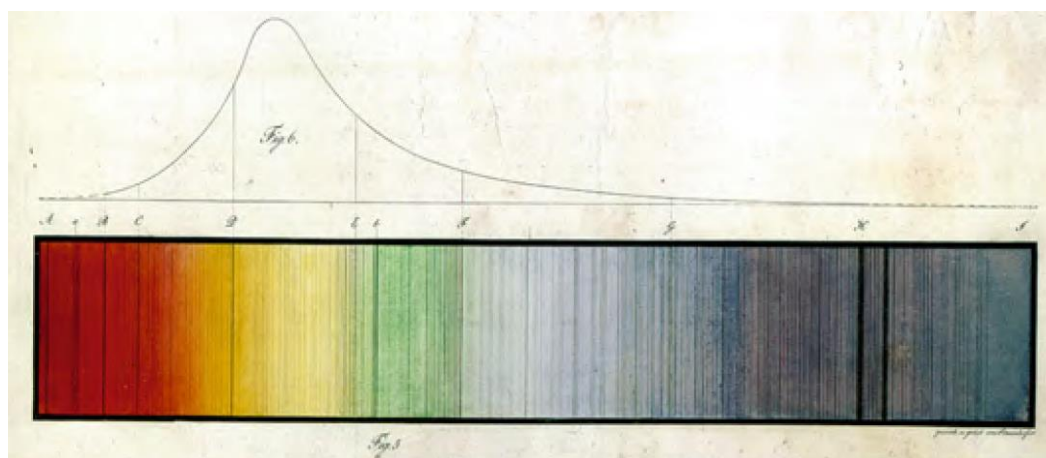
Para obtener una luz simple de cualquier color, elegí el siguiente dispositivo: un prisma de cristal Flint se encuentra sobre un obturador, que tiene solo 0,07 pulgadas de ancho y 1,5 pulgadas de alto, su ángulo es de aproximadamente 40° (figura 3) y a 13 pies de esta, en BC hay 6 lámparas de las que se ilumina a través de aberturas estrechas, sobre el prisma A. El ancho de cada una de estas aberturas es de 0,05 pulgadas, su altura de aproximadamente 1,5 pulgadas y la distancia de una a la otra de 0,58 pulgadas. La luz que cae de las lámparas sobre el prisma A es refractada por éste y dividida en colores y en este estado pasa por la abertura del escarapate. De la lámpara B, los rayos rojos van a E, los rayos violetas a D, de la lámpara C los rayos rojos van a F, los rayos violetas a G. En la ventana de otra casa se encuentran a 692 pies retirados de A, el teodolito, frente al telescopio, que está en el mismo plano BAC en el que se ubica el prisma H sobre el disco horizontal, donde se busca la capacidad de refracción y dispersión del color. Desde la lámpara C, el prisma H solo puede recibir los rayos rojos, porque el resto, p. Ej, B los violetas que van a D no golpean el prisma.

La imagen en color de los rayos de la luz que provienen de esta lámpara se ve en el telescopio del teodolito, debajo de los puntos coloreados, como PQRQ en la figura 4, K es la franja de luz natural de color amarillo rojizo que se ve en cada imagen en color que surge de la luz del fuego. Esta raya me sirve para asegurarme que en diferentes días siempre tengo exactamente el mismo color en los puntos de colores; lo

que no ocurre cuando la mesa sobre la que miran las lámparas cambia de posición en lo más mínimo con respecto al prisma. (FRAUNHOFER, 1817).

Después de lograr el espectro completo con el montaje anterior, Fraunhofer experimento con otros tipos de fuentes de luz como el Sol, *¿Porque probar con la luz del Sol?* En la exploración que hace con el nuevo montaje, modifica ángulos para ver si el fenómeno sigue conservándose. Efectivamente en algunos casos las líneas se muestran más débiles o fuertes. Fraunhofer también experimentó con la luz que venía de Venus y de Sirius, por lo cual pudo considerar que esas líneas oscuras no estaban relacionadas con el vidrio y si con la luz proveniente del Sol o de las estrellas, llegando a la conclusión que: *“Me he convencido a mí mismo a través de muchos experimentos y modificaciones de que estas líneas y franjas son de la naturaleza de la luz del sol y que no surgen por dispersión o similares”* (FRAUNHOFER, 1817). Fraunhofer registró con gran detalle 574 líneas oscuras en el dibujo que se muestra a continuación y nombró con letras mayúsculas las que eran más pronunciadas. (Véase Figura 33).

Figura 33– El espectro de la luz solar dibujado por Fraunhofer



Fuente: Tomado de Thum y Schraivogel (2014).

Con estas líneas como indicadores de la dispersión y fijando prismas en el dispositivo de vidrios Flint y Crown de la más alta calidad, ahora podía comparar el poder de dispersión de los lentes que construía y las líneas de absorción se convirtieron en la medida de calidad de sus lentes y en el tormento de aquellos que no podían obtener vidrios tan apurados, pues ahora también tenían una medida de su falta de calidad.

Ni una sola palabra de cómo producir los vidrios, que era parte del rompecabezas, así como deja para los científicos la explicación de lo que son las líneas oscuras, pues no es su

intención teorizar al respecto. Para él, las líneas sirven de plantilla de medición para la dispersión de la luz en lentes y fabricar los mejores instrumentos ópticos de la época, cuidando cada detalle, desde la producción del vidrio hasta la calibración del instrumento.

El astrónomo de Berlín Johann Gottfried Galle, utilizó un telescopio refractor de Fraunhofer en 1826 con un objetivo de 93/5 de pulgada de diámetro, para observar por primera vez Neptuno en 1846.

Garantizando la fidelidad del mercado: Lo público y lo privado en la práctica tecnológica de precisión óptica

La “ingeniería inversa” en la búsqueda del secreto bávaro para la fabricación de lentes no se hizo esperar por parte de Gran Bretaña. Faraday, intentó infructuosamente replicar las lentes que fabricaban en el Instituto de Óptica de Baviera, Brewster y Herschel también intentaron comprender la naturaleza del conocimiento artesanal de Fraunhofer y algunos empresarios intentaron sobornar a familiares y trabajadores de la empresa para develar su secreto. Si, ¡secreto!, porque Fraunhofer develó el método para medir la calidad de sus prismas y lentes, esto es, las líneas oscuras del espectro solar, pero no develó los procedimientos para la fabricación del vidrio óptico y las técnicas asociadas al pulido de lentes, con lo cual aseguro el mercado al mostrar la precisión con que podía medir la calidad de los prismas y lentes, pero no el secreto de su vidrio óptico.

Como recordamos, el proceso de obtención de vidrio óptico tenía problemas en el mezclado y la fusión. La mezcla del vidrio debía ser homogénea para garantizar una potencia dispersiva y refractiva igual en todo el vidrio, la agitación debía considerar la densidad de los materiales y que quedaran bien mezclados para no generar vetas y burbujas que podían dañar la transparencia del vidrio, entre otros, por tanto, la solución técnica de estos problemas determinó el éxito de la empresa de Fraunhofer. Junto con Guinand habían desarrollado una técnica de agitación para la fabricación de vidrio Flint, que presentaba dificultades por la densidad del óxido de plomo, en la cual utilizaban una cuchara como la que se usaba para hacer campanas, construyeron dos hornos diferentes, para cada tipo de vidrio, pues cada uno requería una temperatura diferente, también habían desarrollado una máquina para el pulido de los lentes y encontrado una muy buena fuente de cuarzo muy puro que venía de Zillertal, la región de Tirol, cerca de los Alpes.

Para conservar el secreto, Fraunhofer les enseñaba a sus ayudantes en la práctica y mediante el “boca a boca”, tradición aprendida de los maestros artesanos que transmitían sus

conocimientos a través de la oralidad. Conservar el secreto fue tarea fácil, pues contaba entre sus filas de colaboradores con monjes benedictinos y artesanos que valoraban el secreto y el silencio como parte de sus tradiciones y prácticas. También porque reconocían que la técnica, esos detalles que se desarrollaban en la práctica, era el principal baluarte de la fábrica de instrumentos ópticos.

El 6 de junio de 1826, a los treinta y nueve años murió Fraunhofer, víctima de una afección pulmonar, común entre los vidrieros que se exponían a altas temperaturas y vapores del óxido de plomo. Con él se fue el secreto de la producción de lentes acromáticas y vidrio óptico. O eso se creía, pues en un hábil movimiento, Utzschneider pidió a un amigo cercano de Fraunhofer tomar nota en su lecho de muerte de la fabricación del vidrio. Estas notas estuvieron guardadas por más de diecinueve años y pasaron a ser propiedad del estado bávaro, que las custodió, hasta casi cien años cuando ya no representaban más una relevancia empresarial para la fabricación del vidrio. El mundo había cambiado y con él, la hegemonía de la producción de vidrio óptico.

Ideas didácticas

Para desarrollar este estudio de caso proponemos el desarrollo de una experimentación cualitativa con diferentes vidrios, un espectroscopio y diferentes fuentes de luz, pues mientras se desarrolla la narrativa, se hace necesario explorar con materiales.

La técnica para acercarnos a las estrellas: las líneas de Fraunhofer y la producción de lentes acromáticas.

Teniendo en cuenta que este caso se trata de explorar la práctica tecnológica y las relaciones entre Ciencia y Tecnología iniciamos con una contextualización de un problema propio de la técnica: la producción de vidrio óptico. Cada apartado contiene algunas preguntas que podrían dar algunas ideas sobre como explorar el caso histórico con los estudiantes.

1. La industria del vidrio y los problemas técnicos de su fabricación.

Pensando juntos: ¿Qué características podríamos considerar al evaluar la calidad de un vidrio que usaríamos para construir instrumentos ópticos?

Esta pregunta busca explorar las ideas de los estudiantes sobre el vidrio óptico y delimitar el problema presentado en el caso histórico. También si tenemos instrumentos ópticos como lupas, lente, binoculares, etc., podríamos pedir a los estudiantes que los exploren con el fin de contestar la pregunta.

Las características de un buen vidrio óptico son: a) homogeneidad (uniformidad en la composición química), b) ausencia de color, c) transparencia total, d) un alto grado de estabilidad química y física, y e) índices de refracción y dispersión conocidos con precisión para los distintos colores. Un vidrio físicamente homogéneo no tiene estrías, vetas ni burbujas. Las estrías suelen tener un índice de refracción más bajo, por lo que desvían las trayectorias de los rayos de luz transmitidos y provocan un deterioro de la imagen. En los telescopios de alta potencia, los rayos convergen en un punto de la imagen bajo un pequeño ángulo, e incluso la más mínima desviación en la trayectoria altera drásticamente la calidad de la imagen.

Cada una de estas características las podemos asociar a los fenómenos ópticos conocidos como reflexión, refracción y dispersión. Especialmente distinguiendo entre refracción y dispersión, pues usualmente se asumen como iguales. Sin embargo, la dispersión de la luz se da cuando un rayo de luz blanca se descompone en el espectro visible después de pasar por un medio transparente. La refracción es el cambio de velocidad de la luz como consecuencia del cambio de medio.

Por otro lado, el modelo de rayos en lentes cóncavas y convexas usualmente utiliza un rayo de luz sin color, por lo cual para abordar los problemas de aberración cromática y esférica que afectan la nitidez de las imágenes, se requiere trabajar con refracciones de los diferentes colores de luz. Para esto podría ser útil utilizar un simulador. A continuación, dos recursos que se pueden explorar y muestran los efectos de las aberraciones en imágenes al microscopio.

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/aberrations/chromatic/index.html>

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/aberrations/spherical/index.html>

2. Las lentes se dirigen a las tierras: la oficina topográfica y de registro de propiedades en Baviera

Pensando juntos: ¿Qué relaciones podemos establecer entre la industria de Baviera y las reformas adelantadas por el rey Maximiliano I?

En este apartado contextualizamos el episodio histórico, estableciendo algunas relaciones entre los hechos políticos y económicos de Europa y la producción de instrumentos ópticos para el proyecto liberal desarrollado en Baviera.

También es importante resaltar el papel de los conocimientos artesanales en los monjes y artesanos del vidrio, que son una característica fundamental de la práctica tecnológica. Estas relaciones entre la técnica y los saberes manuales que se pasaron de generación en generación

por una clase social particular: los artesanos. Sus códigos éticos y su influencia en el desarrollo de la tecnología podrían destacarse, así como un elemento fundamental: el secretismo de sus técnicas.

3. La financiación en el desarrollo de la tecnología- la construcción de telescopios

En este apartado exploramos aspectos del contexto local de Fraunhofer y algunas condiciones que combinaron con sus saberes para que pudiera llegar a dirigir el Instituto de óptica. Desde la dimensión sociocultural se resalta el papel de las fuentes de financiación tanto de sus exploraciones con el vidrio como su formación, proviniendo de una familia de artesanos, por lo cual, su habilidad se articula a un proyecto mayor: la consolidación de Baviera como potencia en la producción de vidrio óptico. Así mismo, el papel del empresario Utzschneider en la consolidación de una industria a través de la articulación de un sistema tecnológico con personas, recursos, formación, productos, comercialización e instituciones.

Pensemos juntos: ¿Cuál es el papel de los conocimientos artesanales en la práctica tecnológica? Y ¿Qué relaciones hay entre la práctica tecnológica y las condiciones socioeconómicas de una sociedad?

4. La técnica de las líneas de Fraunhofer y la dispersión de la luz para evaluar la calidad de las lentes Experimentación- estabilización del fenómeno de absorción.

Para analizar los experimentos que desarrolló Fraunhofer y, sobre todo, resaltar el papel que tiene el carácter experimental en la estabilización de un nuevo fenómeno que amplió la comprensión de la naturaleza de la luz y su interacción con la materia podríamos retomar el trabajo de Pickering (1995) que menciona:

En la producción de cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos fundamentales: a) un procedimiento material en donde se sitúan de los aparatos e instrumentos necesarios, se verifica que funcionen y se controla su funcionamiento b) un modelo instrumental, que se produce en el diseño, realización e interpretación del experimento, en este elemento es fundamental la comprensión conceptual del funcionamiento de aparatos e instrumentos que está íntimamente ligado a la comprensión conceptual del fenómeno en estudio y la búsqueda a la que se ha lanzado el experimentador. Por tanto, él propone un modelo conceptual que le permite identificar, aplicar y usar los aparatos y c) un modelo fenoménico que está en la comprensión conceptual de los aspectos del mundo que es estudiado por parte del experimentador.

Por tanto, podríamos resaltar el papel de la experimentación cualitativa para estabilizar el fenómeno de las líneas de absorción. Esto lo hace a través del uso de diferentes fuentes de luz y luego con el sol, así como variando los vidrios, hasta concluir que las 574 líneas vistas dependen de este y no de los vidrios, por lo cual sería útil la experimentación cualitativa con el espectrómetro.

Los tres elementos que plantea Pickering pueden ser discutidos a través de la lectura de los apartados del artículo original, así:

Frente al montaje experimental y el dispositivo que construye, se puede explorar el procedimiento material en donde se resalta el conocimiento que tiene sobre el funcionamiento del teodolito, el detalle de ubicar en el mismo plano los prismas y el telescopio, así como la descripción de los agujeros para que pase el haz de luz.

También se podría explorar el posible modelo instrumental en el que no se evidencian referencias o discusiones teóricas sobre el modelo de la naturaleza de la luz, en vez de esto se utiliza el “color” y la refracción de cada uno de ellos para hablar del fenómeno.

Frente al modelo fenoménico sería interesante explorar el papel del micrómetro para medir la separación entre las líneas: *En el micrómetro que he adherido al teodolito, solo se iluminan los hilos, todo el campo de visión es negro y pueden ser fácilmente iluminados fuertes y débiles, en cualquier momento.*

Con este procedimiento y marcando las franjas negras, construye una tabla con diferentes medios transparentes, como los vidrios Flint y Crown, agua, ácido sulfuroso, alcohol, aceite de trementina, entre otros, donde mide temperatura real, peso específico, ángulo del prisma y el ángulo que forma el rayo incidente con el rayo refractado N y los ángulos entre cada par continuo de orificios entre ON , NM , NL , NK , NL . Además, establece las relaciones de refracción en los diferentes rayos de colores calculados a partir de los vidrios Flint y Crown, y agua. Esto con el fin de mostrar el cociente entre los índices de refracción entre pares de combinaciones de materiales, esto es Flint y Crown, Flint y agua.

El trabajo de Fraunhofer sobre las líneas oscuras del espectro no fue la culminación de ninguna preocupación por su parte sobre la naturaleza de la luz. Más bien, su trabajo fue producto de una formación artesanal con vistas a perfeccionar la construcción de lentes acromáticas para instrumentos astronómicos como telescopios y heliómetros, así como para instrumentos de topografía de ordenación como los teodolitos.

5. Garantizando la fidelidad del mercado: Lo público y lo privado en la práctica tecnológica de precisión óptica

Pensemos juntos: ¿Es posible equiparar los valores de la actividad científica a los valores de la práctica tecnológica? (Debate sobre estos dos puntos de vista posibles). ¿Fraunhofer debía entregar en el artículo todo su conocimiento en nombre de la Ciencia?

En este apartado es posible discutir sobre las diferencias en términos de valores de la práctica científica y la práctica tecnológica como una de las posibles divergencias. Así mismo, aparece nuevamente la distinción entre los saberes artesanales y los saberes científicos, los primeros comunicados oralmente y de generación en generación, con especificidades del “poner manos en la masa” y por el otro lado, los saberes científicos que usualmente se divulgan a través de artículos y publicaciones para que cualquier miembro de la comunidad científica los pueda replicar, estudiar y criticar.

Para este análisis, se espera que los estudiantes puedan desarrollar una discusión en formato de mesa de discusión en donde defiendan dos posturas: a favor del secreto de Fraunhofer, en contra del secreto de Fraunhofer.

Es posible que las breves ideas didácticas aquí presentadas puedan ser ampliadas, corregidas y/o mejoradas por la comunidad de formadores de profesores de Ciencias, por tanto, presentamos los recursos utilizados para la construcción de la narrativa histórica.

Cuadro 16 - Recursos

Tipo	Enlaces y referencias
Artículo de original	https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15065z/f276.image.r=Annalen%20der%20physik%20(Leipzig).langEN
Textos históricos	https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer/profile-structure/chronicles/joseph-von-fraunhofer.html#3 https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/de/documents/Joseph_Fraunhofer_en.pdf http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:revista100cias-2017-numero10ne-5250/Fraunhofer.pdf https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/documents/Glashuette_engl_tcm6-106162_tcm63-778.pdf
Videografía	https://www.youtube.com/watch?v=hRu_l-CMT6Q&ab_channel=Objectivity https://www.youtube.com/watch?v=7ipBIADSZlE&ab_channel=Objectivity https://www.youtube.com/watch?v=d0cjG1UdqKo&ab_channel=KathyLovesPhysics%26History https://www.youtube.com/watch?v=4UTZHC_Q6LQ&ab_channel=Fraunhofer https://av.tib.eu/media/17732

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 II caso: Antonia Maury y la construcción del catálogo estelar.

El segundo estudio de caso hace parte de la historia de la astronomía en la que se han resaltado las contribuciones de las mujeres. Uno de sus fines es problematizar la división del trabajo científico por género en la astronomía y analizar la aplicación de las líneas espectrales a la clasificación espectral, particularmente el trabajo de la astrónoma Antonia C. Maury (1866-

1952), que es considerado la base para la construcción del diagrama H-R y el desarrollo de la Astrofísica.

Usando el catálogo estelar publicado en los anales del observatorio de Harvard y titulado: Spectra of Bright stars (MAURY; PICKERING, 1897) y algunos textos históricos de segunda fuente (SOBEL; PACHECO GONZÁLES, 2017; VIEIRA; MASSONI; BRITO, 2021), se comprueba el potencial de este caso histórico al traer discusiones sobre 1) la división de género del trabajo científico, 2) la falta de un criterio “objetivo” para aceptar ciertas metodologías y observaciones 3) el papel de la espectrometría en la Astrofísica 4) la comunicación y divulgación en la Ciencia 5) Las relaciones entre producción, divulgación y enseñanza de la astronomía.

Cuadro 17 – Planeación de la narrativa “De los lentos cambios en el cielo a los necesarios en la sociedad: contribuciones de las mujeres en la catalogación estelar” de acuerdo a las dimensiones de la Ciencia integral

DE LOS LENTOS CAMBIOS EN EL CIELO A LOS NECESARIOS EN LA SOCIEDAD: CONTRIBUCIONES DE LAS MUJERES EN LA CATALOGACIÓN ESTELAR			
NARRATIVA	OBSERVACIONAL	SOCIOCULTURAL	CONCEPTUAL
La necesidad de cartografiar el cielo: Los catálogos estelares	Rol de los estudios sistemáticos sobre el brillo de las estrellas	El trabajo y la comunicación en Astronomía	Observación del cielo a ojo desnudo Características de las estrellas Criterios de organización y clasificación de las estrellas
La división del trabajo en Astronomía: las calculadoras de Harvard		Bienes de género Diferencia salarial por género	
El capital cultural de Antonia Maury		Formación académica e influencias sociales Financiación	Personalidades
Las observaciones de Antonia Maury y su organización estelar sientan las bases del diagrama de evolución estelar H-R	Rol del estudio sistemático- análisis de espectrografías Modelo estelar (estrellas binarias)		Absorción y emisión de luz Espectroscopia Astrofotografía Diagrama H-R
La autoría en la Ciencia: Pickering vs Maury		Autoría en la Ciencia Relaciones entre Ciencia- Divulgación y enseñanza de la Astronomía	

Fuente: Elaboración propia.

De los lentos cambios en el cielo a los necesarios en la sociedad: contribuciones de las mujeres en la catalogación estelar

*“Esta es una batalla que tendrán que luchar las mujeres jóvenes.
Hace treinta años pensábamos que la batalla acabaría pronto, pero la
igualdad es tan elusiva como la materia oscura”*

Vera Rubin (1928-)

Dirigir la vista al cielo en una noche estrellada puede convertirnos por un breve tiempo en poetas o astrónomos. ¿Quién se podría resistir a la fascinación que produce la cantidad de puntos titilantes de diferentes colores con los que jugamos a producir formas al unirlos y que nos invitan a pensar en magnitudes astronómicas y nuestro pequeño lugar en el universo? Pues bien, el objetivo de esta historia es adentrarnos en la mirada dirigida a las estrellas, esta vez no en el cielo, sino en fotografías, para organizarlo y acercarnos a la comprensión de la evolución y composición de las estrellas.

La necesidad de cartografiar el cielo: El catálogo estelar

En la búsqueda por comprender los secretos del cosmos, la primera tarea que emprendimos fue organizar la naturaleza para entenderla. Una forma de hacer esto con el cielo fue a través de los catálogos estelares, en donde se compilaron descripciones de las estrellas visibles y astros, determinando entre otras características, su ubicación y movimiento en la bóveda celeste. La importancia de conocer el cielo se extiende más allá de lo contemplativo, pues muchas actividades de la cotidianidad de civilizaciones como la egipcia, mesopotámica, griega, maya, entre otras, se regían por los tiempos de aparición y desaparición en el horizonte de las estrellas y astros, por ejemplo, la agricultura, navegación y algunos ritos religiosos.

Estas civilizaciones nos dejaron sus descripciones del cielo, que fueron la base para comparar y corregir los siguientes catálogos estelares. Por ejemplo, Hiparco, en el 129 a.C. comparó su catálogo estelar con el de los astrónomos griegos Timocares de Alejandría y Aristilo, escrito en siglo III a. C., y se dio cuenta que las posiciones de las estrellas eran diferentes con el paso del tiempo. Estos cambios en los catálogos eran la evidencia del movimiento del eje de la tierra y el fenómeno de precesión de los equinoccios, así que calculó que el eje de la tierra tarda 26000 años en completar un giro, aproximadamente. El astrónomo Claudio Ptolomeo (c.90 - c.186) también incluyó en su obra cumbre, *El Almagesto*, un catálogo estelar con más de mil estrellas visibles desde su ciudad natal, Alejandría (Egipto), a una latitud de 31,2°. Este catálogo fue usado más de ocho siglos y solo hasta el 964 fue actualizado por el astrónomo persa abd Al-Rahman Al Sufi (903-986), que en su escrito *“El libro de las estrellas*

fijas” registró por primera vez la Galaxia de Andrómeda, agregó algunas constelaciones propias de las tradiciones astronómicas árabes indígenas y utilizó nombres árabes para algunas estrellas, por ejemplo Betelgeuse o Aldebarán, todo esto desde Isfahan (ciudad de Irán) a una latitud de 32,6°. El uso de este catálogo se extendió en el mundo islámico.

Los catálogos estelares dependían de la ubicación y el buen ojo del observador. Así, estos se construían con datos como el color, la posición en la bóveda celeste, la constelación a la que pertenecían y el brillo aparente. Esta última característica de las estrellas era problemática, pues su percepción dependía de factores como el tamaño de la estrella, su distancia al observador y su temperatura, tres cosas que difícilmente podríamos medir directamente. Además, para poder establecer un orden, se requería una estrella-patrón con la cual comparar a las otras y muchas de ellas podían tener un brillo aparente igual. Ptolomeo, para resolver este problema, dividió las estrellas en seis grupos de magnitudes aparentes, donde las de magnitud 1 eran las más brillantes y las de magnitud 6 eran las que apenas podían ser percibidas al observarlas a ojo desnudo. El astrónomo danés Tycho Brahe con este método, en el año de 1598, logró catalogar más de mil estrellas desde la isla de Hven, en Suecia, a una latitud de 55,9° haciendo un excelente uso del cuadrante, el reloj estelar, los gnomos, entre otros y constituyendo uno de los últimos catálogos de la astronomía pretelescopica. El avance de la óptica y el pulido de lentes para telescopios permitió visibilizar estrellas más allá de la magnitud 6 y mejorar la precisión en el cálculo de las posiciones de las estrellas.

Con el desarrollo de la colonización de territorios en diferentes latitudes del globo terráqueo y el aumento de la navegación, se requirió ampliar los catálogos estelares, que reemplazaron los Atlas de constelaciones. La geografía y cartografía se desarrollaron de la mano de la astronomía, aumentando la precisión y cantidad de estrellas catalogadas. Veamos por qué. Un problema importante desde el siglo XV fue el establecer la longitud en altamar. La latitud había sido resuelta hábilmente por los experimentados navegantes lusitanos, a través de la observación del ascenso y descenso de la estrella polar, pero la longitud aun presentaba dificultades. Uno de los métodos ideados para medirla fue el de observar el movimiento de la luna a través de estrellas fijas y registrar el tiempo, sabiendo que la tierra barre un ángulo de 15° por hora y habiendo registrado la posición de la luna con respecto a las estrellas en el punto de partida, era posible calcular la posición del barco en altamar. Esto requería conocer con precisión las posiciones estelares, tener relojes de precisión y anticipar la posición de la luna con respecto a una estrella. No resultó un método muy eficiente. Los ingleses avanzaron en la precisión de cronómetros y relojes, así como en sus catálogos estelares e instrumentos ópticos.

Flamsteed (1646-1719), por ejemplo, catalogó más de tres mil estrellas con una alta precisión y detalles.

Los catálogos estelares pretelescopicos se limitaban a porciones del cielo de acuerdo a la posición de los observadores y a los datos que podían compartir entre astrónomos a través de sus cartas, hasta que surgió la idea de catalogar toda la bóveda celeste. Desde el siglo XVIII los astrónomos habían trabajado en la homogenización de técnicas, instrumentos y formas de comunicarse los resultados entre sí. Por esto no fue extraño que los astrónomos alemanes Friederich Argelander (1799-1875) Adalvert Kruger y Eduard Schonfeld, en 1862 publicaran su primer catálogo denominado *El Bonner Durchmusterung* (BD), que fuera considerado el más importante de su época y que contenía las posiciones de 324198 estrellas, cubriendo gran parte del hemisferio norte.

En 1867, Argelander propuso a la Asamblea General de la Astronomische Gesellschaft, del que fue fundador, ampliar el proyecto de catalogación estelar hasta la magnitud 9 para otras latitudes. Era un proyecto a larga escala tanto en tiempo como en instituciones involucradas. Convocó a catorce observatorios ubicados en Rusia, Noruega, Alemania, Finlandia, Estados Unidos, Suecia, Holanda e Inglaterra y posteriormente se incluyeron tres más en Francia, Austria y EE. UU. En 1886 se publicó el *Südliche Durchmusterung* (SD) para las declinaciones entre -1° y -23° con 120 mil estrellas y luego se amplió al *Córdoba Durchmusterung* (CD) en 1892, liderado por un norteamericano en Argentina, que cubrió las declinaciones de -22° a -90° . Por último, se publicó el *Cape Photographic Durchmusterung* (CPD) en 1896 con cuatrocientas cincuenta mil estrellas, compilado desde Ciudad del Cabo en Sudáfrica, cubriendo las declinaciones entre -18° y -90° . Rápidamente, la idea de catalogar el cielo de manera global se extendió y surgieron proyectos paralelos, en los que se ponían en juego las nuevas técnicas de astrofotografía y espectrografía.

La división del trabajo en Astronomía: las calculadoras de Harvard

EE. UU. vivió una época de grandes cambios con la conformación de la nación y el florecimiento del pensamiento liberal y científico en el siglo XVIII. En la constitución puesta en marcha en 1789 se incluyó un artículo en el cual se fomentaría el progreso de la Ciencia y las artes útiles. Así, muchas instituciones educativas y científicas contaron con el apoyo estatal y fuentes de financiación importantes. La astronomía se desarrolló con bastante éxito en la reciente nación. Los observatorios contribuían a la medición del tiempo, así como en cuestiones asociadas a la navegación y contaban con equipos y astrónomos de renombre mundial.

Por otro lado, los vientos de la Declaración de independencia se instauraron en los sentimientos de sesenta y ocho mujeres norteamericanas, que en la primera convención de derechos de la mujer en 1848 firmaron la *Declaración de Sentimientos*⁵⁴, en la que denunciaron las privaciones de derechos que las mujeres blancas, de clases sociales privilegiadas vivían en esa época, entre ellos, el de obtener una educación completa y el de no recibir una remuneración adecuada, de acuerdo a los pocos empleos que podían ejercer, que usualmente no estaban entre los más rentables. Trece años después, en 1861, el empresario y cervecero Matthew Vassar fundó el *Vassar College*, una institución dedicada a formación femenina en artes liberales y en la que los principales académicos de la época enseñaban matemáticas, astronomía, química, música, entre otras. Este “College” paso a integrar el grupo de los siete colegios femeninos dedicados a la educación femenina de elite en Estados Unidos que se abrieron entre 1837 y 1889.

Algunas familias de clase trabajadora enviaban a sus hijas a la escuela pública y complementaban su formación en casa. Por ejemplo, Marie Mitchell aprendió de su padre el oficio de calibrar los instrumentos de los barcos para medir las longitudes en altamar y fue la primera mujer elegida para la Academia Americana de las Artes y las Ciencias, después de publicar el descubrimiento de un cometa que lleva su nombre. El propio Mathew Vassar invitó a Marie Mitchell a enseñar astronomía en el *Vassar College*. La observación, los cálculos para corregir posiciones aparentes de estrellas hacían parte del currículo en astronomía, pues Mitchell consideraba que las mujeres tenían una habilidad innata para la observación minuciosa y los cálculos. El cuarto director del observatorio de Harvard, Edward Pickering (1858-1935) también compartía esta opinión, por lo cual, después de despedir a su asistente, le propuso al ama de llaves del observatorio, la señora Williamina Fleming (1857-1911) realizar tareas rutinarias de cálculos y de oficina. Fleming había asistido a la escuela pública en Escocia y actuaba como profesora, por lo cual la actividad no le resultaba del todo complicada. Con el éxito de la contratación de la primera calculadora, Pickering conformó un equipo de veintiún mujeres, la mayoría formadas en los colegios femeninos, que tenían como trabajo la identificación de las estrellas, la clasificación de sus espectros y la determinación de sus magnitudes. La remuneración media de las "computadoras" en Harvard era de 25 céntimos la hora, menos de la mitad de lo que se pagaba a los hombres. Fleming, al respecto de su salario, mencionó en su diario: «A veces me siento tentada de abandonar y dejar que contrate a un hombre para hacer mi trabajo, de modo que se dé cuenta de lo que obtiene por mil quinientos

⁵⁴ <https://www.nps.gov/wori/learn/historyculture/declaration-of-sentiments.htm>.

dólares al año conmigo comparado con los dos mil quinientos de otros asistentes. ¿Piensa él alguna vez que tengo una casa y una familia a la que atender igual que los hombres? Pero supongo que una mujer no tiene derecho a semejantes comodidades. ¡Y esta se considera una época ilustrada...!».

La propia Marie Mitchell, refiriéndose a la división de trabajo en la astronomía, en un discurso en la sociedad de mujeres astrónomas, dijo:

Las leyes de la naturaleza no se descubren por accidente; las teorías no llegan por casualidad, ni siquiera a las mentes más brillantes; no nacen de la prisa y la preocupación del trabajo diario; se buscan con diligencia, se esperan con paciencia, se reciben con cautelosa reserva, se aceptan con reverencia y asombro. Y hasta que las mujeres no hayan entregado su vida a la investigación, es ocioso discutir su capacidad de trabajo original.

La comunicación entre los directores de los observatorios no solo era sobre las estrellas, los aspectos administrativos también eran importantes, por lo cual rápidamente se extendió la estrategia de contratar mujeres, por menor costo y con mayor eficiencia. Para el proyecto del observatorio de París, *La Carte du Ciel*, iniciado en 1887, que se proponía catalogar las estrellas de magnitud 11 y 12 usando astrofotografía, los observatorios participantes asumieron esta estrategia, logrando catalogar más de veintidós mil placas de vidrio. Este proyecto no logró terminarse y ninguna de las mujeres que trabajó en la catalogación recibió los créditos por su trabajo.

En la primera versión del catálogo Draper publicado en 1890, en honor al astrónomo Henry Draper, que se había propuesto catalogar diez mil estrellas con magnitud 9 o inferiores utilizando los registros de los espectros estelares, las calculadoras de Harvard pudieron estudiar más de 225000 estrellas y clasificarlas en diecisiete grupos, posteriormente se unieron al equipo otras mujeres y el catálogo se extendió a 359.083 estrellas en su última publicación en el año de 1949 siendo uno de los más usados y referidos en el mundo entero.

El capital cultural de Antonia Maury

Antonia Maury nació en Nueva York, el 21 de marzo de 1866, en el seno de una familia de clase alta migrante. Su abuela materna, Antonia Coetana de Paiva Pereira Gardner Draper (1814-1870) nació en Brasil, después de que su padre, el médico Daniel Gardner de la corte de Juan VI de Portugal y Carlota de España, decidiera migrar con su familia desde Portugal por cuenta de las guerras napoleónicas. Ella contrajo matrimonio con John William Draper en Inglaterra y tuvieron seis hijos, entre ellos Henry Draper y Virginia Draper Maury. La familia

Draper se radicó en EE. UU en 1834 en donde Virginia Draper conoció al reverendo y naturalista Mytton Maury, con el que tuvo cuatro hijos, entre ellos Antonia Maury.

Esta familia tenía entre sus miembros a importantes científicos e inventores. Por ejemplo, el Dr. John Draper, abuelo materno de Antonia, fue el primero en obtener una fotografía de la Luna con éxito en 1840 y perfeccionar las técnicas de astrofotografía al análisis espectroscópico. El Dr. Henry Draper, continuando con el trabajo de su padre, consiguió tomar una fotografía de las líneas espectrales de Vega en 1872. Tanto el abuelo materno como el tío de Antonia Maury tenían gran interés en la astronomía y particularmente en la astrofotografía. Por su parte, el padre de Antonia Maury también fue médico, pero tenía un especial interés con la Geografía física, por lo cual publicó dos manuales: *Manual de Geografía de Maury* (ediciones de 1892, 1894 y 1896) y la *Geografía Física de Maury* (ediciones de 1893 y 1894). Con este capital cultural, constantemente expuestos a la investigación científica y al estudio de clásicos, ella y sus hermanos pronto mostraron inclinación por la Ciencia. Su hermana Carlota Joaquina tuvo una importante carrera como paleontóloga y geóloga, con importantes aportes a la investigación sobre el petróleo.

Antonia Maury estudió en el Vassar College y curso ocho semestres de astronomía, siendo una de las diecinueve estudiantes de la clase de María Mitchell entre 1886 y 1887, graduándose con honores en Física, Filosofía y Astronomía. Por la misma época, en 1886, la tía de Maury, Anna Palmer Draper, hija y heredera de un acaudalado empresario del ferrocarril y de bienes inmuebles, decidió continuar el catálogo iniciado por su esposo, y creó el Memorial Henry Draper para financiar con 400.000 dólares el proyecto de un catálogo fotográfico de espectros estelares recogidos sobre placas de cristal, siendo el primero de su tipo. El tío de Antonia, Henry Draper, había perfeccionado la técnica para obtener los registros de los espectros estelares y contaba con más de 100 placas de fotografías. Él había conseguido adaptar a un telescopio, un prisma que dispersaba la luz proveniente de las estrellas y capturar el espectro en una placa de vidrio seca. Con este instrumento y las placas de vidrio obtenidas por Draper, Pickering que tenía el mismo interés, continuó el proyecto del catálogo Henry Draper (HD).

En marzo de 1888, Anna, la viuda de Henry Draper escribió a Pickering para recomendar a Antonia en el proyecto del catálogo HD. Pickering aceptó y ella se unió al equipo en junio de ese año. El equipo, para ese entonces estaba conformado por catorce mujeres, entre las que figuraban además de algunas graduadas del Vassar College y Radcliffe, la señora Williamina Fleming, anteriormente la ama de llaves del Observatorio, Selina Bond, hija del

primer director del observatorio y hermana del segundo director que también fue la ayudante del astrónomo William Rogers en la edición de las posiciones de estrellas en la zona de Harvard como parte del proyecto alemán del Astronomische Gesellschaft y Anna Winlock, hija del tercer director del observatorio.

Todas estas mujeres tenían los ojos en los datos de las fotografías y formación para realizar los cálculos de posiciones y correcciones según la paralaje estelar. Sin embargo, difícilmente se les permitía teorizar, es decir, ir más allá de los datos y ninguna de ellas era denominada astrónoma, en vez de eso, su denominación era: Calculadoras de Harvard.

Las observaciones de Antonia Maury y su organización estelar sientan las bases del diagrama de evolución estelar H-R

Nuestro conocimiento acerca del universo proviene de la luz que nos llega de él. Con el avance de la fotografía y la espectrometría, la espectrografía se convirtió en una técnica fundamental que solucionaba el problema del registro de las observaciones por más tiempo.

Uno de los primeros en la espectrometría estelar fue el sacerdote Ángelo Secchi (1818-1878) que después de analizar el espectro de más de cuatro mil estrellas en 1863, propuso una clasificación estelar de acuerdo a los colores de las estrellas y sus correspondientes líneas espectrales. Las clases de Secchi se dividían en cuatro y posteriormente agregó un quinto grupo:

Cuadro 18 – Características de las clases de Secchi

CLASE DE SECCHI	CARACTERISTICAS
I clase	Estrellas tipo sirio - azules o blancas, contienen cuatro líneas en el hidrogeno: una en el rojo, otra en el verde y dos en el azul-violeta
II clase	Estrellas tipo sol - amarillas hacia naranja, con diversas líneas finas del Hidrógeno y metales
III clase	Estrellas tipo Orión naranja hacia roja- espectro con bandas anchas que se superponen y se hacen débiles hacia el azul
IV clase	Estrellas Rojas, parecidas a las de tipo 3 pero casi sin luz en el azul. Tienen bandas oscuras, diferentes a las de tipo 3. Muestran bandas que se debilitan hacia el violeta. Son muy poco abundantes.

Fuente: <https://media4.obspm.fr/public/VAU/images/diagrama/secchi1.jpg>. Biblioteca del Observatorio de París.

Pero en Harvard querían mejorar esta clasificación. En 1890, Fleming junto a Pickering trabajaron en la creación de un sistema de catalogación estelar utilizando diecisiete letras, para mostrar las diferencias entre los espectros obtenidos. Si bien conservaron el criterio de Secchi de diferenciar las estrellas por la ubicación de las líneas y su correspondencia a los elementos,

según el trabajo de Kirchhoff y Bunsen (1859) sobre espectros de absorción y emisión de sustancias, estas cinco clases no eran suficientes para mostrar las diferencias entre los espectros, de acuerdo a la variabilidad entre cantidad y disposición de las líneas. Fleming sustituyó los números romanos de Secchi y en su reemplazo uso letras de la A hasta la Q, eliminando la J por su parecido con la I. Al clasificar las estrellas con este nuevo sistema, la mayoría se situó en el grupo A, con dos líneas de hidrogeno y las menos numerosas, que no encajaban en la secuencia principal, se distribuyeron entre las letras N y Q.

Paralelo a este trabajo de la señora Fleming, Antonia fue asignada al estudio la órbita de una estrella espectroscópica doble o binaria: Zeta Ursae Majoris estudiada por Pickering a través de sus líneas espectrales. A simple vista se pueden detectar en el cielo estrellas con luminosidad variable. Este cambio aparente en su luminosidad se puede deber a factores intrínsecos y extrínsecos. En los primeros, la estrella tiene cambios en sus propiedades físicas y en la segunda, su cambio de luminosidad se debe a factores externos, como pertenecer a un sistema binario o que, al rotar, percibamos sus manchas, por lo cual hay un aparente cambio en la luminosidad, desde lo que observamos. Así, las estrellas binarias pueden conformar un sistema en el cual orbitan alrededor de un punto y por tanto ejercen fuerzas de atracción gravitacional entre sí. En 1889, al estudiar esta estrella, Antonia Maury encontró una segunda binaria espectroscópica: Beta Aurigae y también determinó su periodo orbital. Estos descubrimientos fueron presentados en la reunión de la Academia Nacional de Ciencias realizada en Filadelfia, el 13 de noviembre de 1889. Posteriormente, Antonia se unió a las calculadoras que estaban trabajando en el catálogo Henry Draper y en 1888 también se le asignó el estudio de los espectros de las estrellas brillantes al norte de la declinación -30° ⁵⁵ que se recogieron en una expedición en Perú. En el primer capítulo del catálogo publicado en 1897, Antonia escribe:

Las páginas siguientes contienen los resultados de un examen de unas cuarenta y ocho mil fotografías que representan los espectros de seiscientas ochenta y una de las estrellas más brillantes al norte de la declinación -30° . [...] La longitud del espectro fotografiado entre He 3970 y HB 4861, era de 8,0 cm. cuando se utilizaban cuatro prismas juntos, y de 2,0 cm con un solo prisma. [...] La clasificación de los espectros estelares que se describirá a continuación depende principalmente de la comparación de los espectros fotografiados con un prisma.

⁵⁵https://hollis.harvard.edu/primo-explore/fulldisplay?docid=HVD_VIAolvwor432300&context=L&vid=HVD2&search_scope=everything&tab=everything&lang=en_US

La nueva clasificación propuesta por Antonia se basaba en las diferentes características que mostraban las líneas de los espectros que quedaban registrados en las placas, como grosor, distancias entre ellas y cantidad de líneas, por lo cual era necesario garantizar que la toma de datos fuese de la mayor calidad posible, por eso se tomaban fotografías con cuatro, tres y dos prismas de las estrellas más brillantes. Frente a esto menciona:

Esta clasificación depende, en cierta medida, como se verá más adelante, de la apariencia, así como de la posición de las líneas espectrales. Por lo tanto, es necesario tener cuidado de no confundir las apariencias debidas a la falta de un ajuste focal preciso con las características de las estrellas particulares. Cuando el ajuste focal es insatisfactorio, los bordes de las líneas están mal definidos; pero cuando se mejora, mientras estos bordes se vuelven más definidos, la línea en sí misma a menudo permanece comparativamente indistinta, y tiene relativamente poco contraste con el resto del espectro. Tales líneas, en el curso del presente tratado, se describirán como "brumosas".

También describió la importancia del precipitado de placa en donde se marcaban las líneas de emisión, pues dependiendo de su densidad que, al ser mayor, estrecharía las líneas gruesas y borrar las finas o en su defecto, generaría el efecto contrario. Por fin, la clasificación desarrollada por Antonia Maury está constituida por 22 grupos, como ella lo describe en el catálogo HD:

Como es habitual, las estrellas se ordenaron en una serie aparentemente progresiva, que en el presente caso se hizo para incluir veintidós grupos, excluyendo los espectros compuestos, es decir, los espectros que parecían en realidad el resultado de la combinación de los espectros de dos o más componentes cercanos de diferentes caracteres espectrales, y excluyendo también aquellos en los que las líneas brillantes eran la característica más importante.

La atención a las características de las líneas espectrales en términos de su ancho y nitidez la llevaron a proponer transiciones entre los grupos. La primera columna contenía siete tipos de líneas asociadas a las encontradas en las estrellas de Orión, posteriormente se supo que eran las líneas correspondientes al helio. Ella lo describe como: *En la primera columna, O., I., II., III., IV., V., C, y L. se utilizan para denotar respectivamente los espectros del tipo Orión, los espectros de los cinco tipos habituales, los espectros compuestos (aparentemente para ser resueltos en dos o más), y los espectros que son principalmente del tipo Orión, pero que contienen líneas brillantes.*

Los otros grupos son descritos por Antonia de la siguiente manera: *Como la división c se distingue por líneas muy estrechas y la división b por líneas muy anchas, mientras que las de la división a son intermedias, la primera de estas columnas se refiere a la división c; la siguiente a los espectros intermedios entre las divisiones c y a; las que siguen se refieren respectivamente a los espectros de la división a, a los espectros que podrían asignarse a la división a o a la división b, a los espectros claramente intermedios entre estas divisiones, a los espectros de la división b, a los espectros que podrían colocarse bajo cualquiera de las denominaciones a, b o ac⁵⁶, y a los espectros peculiares, bajo la rúbrica p.*

La clasificación propuesta por la señora Fleming y Pickering fue retomada por Annie Jump Cannon casi en la misma época en que Maury trabajaba en su propia clasificación. Ella simplificó la cantidad de clases usando las letras O B A F G K M y las asoció a sus temperaturas. Algunos creen que recordaba el orden con la frase: Oh Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me! ¿Crees que puedes inventar una mejor?

Sin embargo, la clasificación de Maury apuntaba a la apariencia de las estrellas, es decir su tamaño. Por esta razón fue muy importante distinguir entre estrellas del grupo c y del grupo ac. En sus propias palabras: *“la marcada estrechez de las líneas de hidrógeno que caracterizan a la División c puede algún día proporcionar una pista sobre la diferencia de condiciones físicas en las estrellas de las divisiones a y c”* (MAURY, 1897, p. 124-125).

Esta clasificación realizada por Antonia fue objeto de controversias con el propio Pickering, por lo cual no fue tomada en cuenta en el catálogo HD. En 1905, el astrónomo y químico danés Ejnar Hertzsprung publicó un trabajo sobre las magnitudes y luminosidades estelares en donde distinguió dos tipos de estrellas rojas: las enanas y gigantes. Estas últimas correspondían a las estrellas que Antonia Maury había catalogado con la característica c, por lo cual Hertzsprung dijo: *"En mi opinión, la separación de Antonia C. Maury de las estrellas c y ac es el avance más importante en la clasificación estelar desde los ensayos de Vogel y Secchi. (4) Descuidar las propiedades c en los espectros solares, creo, es casi lo mismo que si el zoólogo, que ha detectado las diferencias decisivas entre una ballena y un pez, siguiera clasificándolos juntos."*

⁵⁶ Véase la clasificación estelar de Secchi en

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Star_spectra_by_Secchi.jpg

Ocho años después Hertzsprung y Henry Norris Russell crearon el diagrama de Hertzsprung-Russell (HRD), un gráfico de la magnitud absoluta, la luminosidad, la clasificación y la temperatura efectiva de las estrellas. Este diagrama es fundamental en la teoría de la evolución estelar y en 1922 la Unión Astronómica Internacional modificó el sistema de clasificación, originado en el esquema de Annie Cannon, e incluyó el prefijo *c* a un determinado tipo espectral definido por líneas estrechas y nítidas.

La autoría en la Ciencia, ¿cuestión de jerarquías?

La astrónoma Ellen Hoffleit, que trabajó en Harvard en 1948, consideró que Antonia Maury era *una de las pensadoras más originales de todas las mujeres que Pickering empleaba, pero en lugar de alentar sus intentos de interpretar las observaciones, él sólo se irritaba por su independencia y su alejamiento de la rutina asignada y esperada*". El trabajo de Antonia Maury en el grupo de calculadoras de Harvard era destacado, pues más allá de observar y catalogar las estrellas, se había propuesto refinar las categorías espectrales y mostrar con la mayor precisión posible las diferencias en las líneas que ella veía.

El análisis de miles de placas fotográficas había agudizado su mirada como para distinguir entre una línea borrosa producto de la técnica o de la naturaleza de la estrella. Sin embargo, esta atención al detalle, que se mostraba en la medición del ancho de las líneas y la exhaustiva comparación de la nitidez de los espectros en varias placas, iba más allá de su función como calculadora y podía comprenderse como un factor que ralentizaba el trabajo en el catálogo. De hecho, poco después de mostrar su clasificación a Pickering, este juzgó que los espectros que examinó no tenían la calidad necesaria para evidenciar tales distinciones, por lo cual podrían ser detalles sin importancia.

Sin embargo, esta no fue la primera controversia que tuvo Antonia con Pickering. El 13 de noviembre de 1887 en la reunión de la Academia Nacional de las Ciencias en Filadelfia, él presentó el trabajo titulado "On the Spectrum of Zeta Ursae Majoris"⁵⁷ en el cual hizo una breve mención al trabajo de Antonia, que fue la primera en calcular las órbitas y los períodos de revolución de las dos primeras binarias espectroscópicas presentadas por él. Posteriormente, en la publicación firmada solo por Pickering en el *American Journal of Science*, 3rd Ser., vol. 39, pp. 46-47, 1890, escribió:

En el Tercer Informe Anual del Henry Draper Memorial, se llama la atención sobre el hecho de que la línea K en el espectro de Zeta Ursae Majoris aparece ocasionalmente doble.

⁵⁷ <https://www.leosondra.cz/en/mizar/pickering/>

El espectro de esta estrella ha sido fotografiado en el Harvard College durante setenta noches y la señorita A. C. Maury, sobrina del Dr. Draper, ha realizado un cuidadoso estudio de los resultados.

Es la única mención que aparece en este artículo para el trabajo de Antonia Maury por lo cual ella renunció en 1891 al Observatorio de Harvard y se dedicó a la enseñanza en la Escuela Gilman de Cambridge. Cuando Pickering le pidió volver al proyecto del catálogo Draper o que entregara el trabajo realizado, ella le respondió:

. "No creo que sea justo que pase el trabajo a otras manos hasta que pueda mantenerse como un trabajo hecho por mí. Elaboré la teoría a costa de muchas reflexiones y elaboradas comparaciones y creo que debería tener todo el crédito por mi teoría de las relaciones de los espectros estelares y también por mis teorías respecto a Beta Lyrae."

Antonia también descendía de distinguidos profesores y científicos. Su bisabuelo paterno, el reverendo James Maury, fue el maestro de tres presidentes estadounidenses -Thomas Jefferson, James Madison y James Monroe, por lo cual la docencia no le resultaba del todo extraña. Entre 1896 y 1918 enseñó Física y Química en la Castle School (la escuela suburbana para niñas de la señorita C.E. Mason) en Tarrytown-on-Hudson, Nueva York y se encargó de la gestión del Draper Park Museum. También dio algunas conferencias sobre astronomía a diversos públicos.

En 1893 y posteriormente, en 1895 volvió a Harvard con el propósito de terminar la clasificación estelar que había iniciado y en 1897 en el *Spectra of Bright Stars Photographed with the 11-inch Draper Telescope como parte del Henry Draper Memorial* aparecía como subtítulo: Discutido por Antonia C. Maury bajo la dirección de Edward C. Pickering, con lo cual fue una de las primeras mujeres en tener autoría en un trabajo teórico en astronomía. Poco antes de la muerte de Pickering, en 1919, fue contratada nuevamente por Harvard como profesora adjunta hasta su retiro en 1948 y a los 77 años recibió el premio Annie J. Cannon de la Sociedad Astronómica Americana. La primera en recibir este premio fue Cecilia Payne-Gaposchkin quién recuerda a Antonia Maury en su autobiografía⁵⁸ de la siguiente manera: *Al igual que la Srta. Cannon, la Srta. Maury fue extremadamente buena conmigo. Fueron muchas las largas conversaciones que mantuvimos sobre los problemas de los espectros estelares. [...]* *La señorita Maury era sensible, imaginativa, afectuosa, y tengo la impresión de que era un tipo*

⁵⁸ PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia. **An Autobiography and Other Recollections by Cecilia Helena Payne Gaposchkin**, Katherine Haramundanis, ed., Cambridge, 1996.

de persona rechazada. No sé si alguien le había mostrado alguna vez mucho afecto.... Nadie la había escuchado nunca.... Era una mujer de gran valor y calidez de corazón....

Payne-Gaposchkin también comparó a Antonia Maury con Annie Cannon y dijo: *Había una profunda diferencia en la perspectiva científica entre ella y la señorita Cannon. La señorita Maury era una soñadora y una poetisa, que siempre denunciaba con vehemencia las injusticias, que siempre luchaba por una buena causa (a menudo perdida). Le apasionaba entender las cosas. Era típico de ella que se dedicara durante años a los misterios de Beta Lyrae y Upsilon Sagittarii, aún sin resolver.*

Antonia Maury continuó investigando y publicando sus trabajos, esta vez sobre estrellas binarias espectroscópicas, especialmente *Beta Lyrae*. Esta mujer con los ojos en los vidrios presenció lentos cambios en el cielo y algunos cambios en su sociedad. Murió en Dobbs Ferry, Nueva York, el 8 de enero de 1952.

Ideas didácticas

La narrativa del episodio histórico anteriormente presentado puede ser potente para mostrar las relaciones entre Física y Astronomía, pero, sobre todo, explorar algunas singularidades de la práctica astronómica como son: la observación del cielo, la comunicación entre astrónomos y personas aficionadas a la astronomía, así como el papel de los datos en la construcción de teorías y estabilización de fenómenos astronómicos.

1. La necesidad de cartografiar el cielo: Los catálogos estelares

Pensemos juntos: ¿Cuáles podrían ser los fines y usos de la organización del cielo por parte de diversas civilizaciones?

En este apartado exploramos desarrollamos una contextualización del problema de catalogar porciones del cielo. Una primera exploración y propuesta para los estudiantes y/o formadores es realizar observaciones del cielo a “ojo desnudo” intentando dar respuesta a su ubicación a través de los astros y estrellas. Así mismo, al pensar que catalogar es una forma de organizar que implica clasificaciones y comparaciones, se requiere hacer explícitos los criterios de estas dos operaciones mentales.

En ese sentido, se podrían explorar los criterios enfocados a un tipo de astros: las estrellas que parecen fijas en la bóveda celeste. ¿Qué características podríamos resaltar de las estrellas? ¿Cuáles de esas características son medibles y cómo? Respondiendo a esta pregunta

se puede discutir el carácter provisional de la organización de las estrellas y estudiar las medidas de posición estelares: Latitud y longitud, declinación y ascensión recta.

Así mismo, la narrativa resalta el rol de los estudios sistemáticos del cielo en los catálogos estelares y el papel de los datos en el tiempo. Estos datos, dada la magnitud de la empresa astronómica, requieren comunicación y colaboración entre los astrónomos, por lo cual es una práctica usual la comunicación de datos de observación.

2. La división del trabajo en Astronomía: las calculadoras de Harvard

Este apartado procura problematizar las causas de la división del trabajo en astronomía y su consecuente remuneración salarial.

En los dos fragmentos tanto de María Mitchell como de Williamina Fleming se invita a los estudiantes y/o formadores a reflexionar sobre el problema de la división del trabajo en la Ciencia por género.

Por un lado, se resaltan las clases sociales de las participantes y su acceso a la educación, así como el pago por una labor que no era considerada “teórica”, es decir, la brecha no estaba presente solo en la remuneración salarial sino en la posibilidad de acceder a la producción de la Ciencia y ser reconocidas por ella. Una posible idea es explorar algunas cifras actuales de este problema en la Ciencia actualmente. ¿Por qué el problema persiste?

3. El capital cultural de Antonia Maury

En este apartado nos acercamos al contexto en el que Antonia Maury desarrolló sus aportes a la astronomía como parte del grupo de calculadoras de Harvard. En este caso es posible reconocer diferentes razones (emocionales, sociales, parentales) para hacer Ciencia, en este caso, vincularse al proyecto del catálogo Henry Draper, aun con la diferencia salarial que Mitchell y Fleming resentían, además de reconocer diferentes formas en que la investigación científica se subsidia.

4. Las observaciones de Antonia Maury y su organización estelar sientan las bases del diagrama de evolución estelar H-R

En esta parte de la narración el foco está en la dimensión observacional y conceptual de la Ciencia. Nuevamente, el rol del estudio sistemático de los datos, en este caso, de las placas de vidrio y la familiarización con el fenómeno, llevan a Antonia a “considerar” que las diferencias en las líneas puede ser un indicador de algo más.

En este apartado sería interesante explorar la técnica de espectrografía ya sea a través de una simulación y/o registros obtenidos y publicados, así como el diagrama H-R. En ese sentido, se podría escoger una de las estrellas más brillantes, no binaria, (podemos hacer uso de stellarium) e intentar catalogarla de acuerdo con las clases de Secchi, las de Jump y las de

Maury, así como ubicarla en el diagrama de evolución estelar. En ese sentido, sería importante evidenciar la contingencia de los modelos de clasificación de acuerdo con los criterios establecidos y cómo se va refinando las características que se observan de las estrellas.

Pensemos juntos: *¿Por qué difiere el foco de las observaciones de Secchi, Pickering y Maury?*

5. La autoría en la Ciencia, ¿cuestión de jerarquías?

Usualmente en la Ciencia algunas teorías llevan el nombre del autor, por ejemplo “Leyes de Newton”, “principio de Pascal” o “teoría de la evolución de Darwin”, por lo cual fácilmente podemos considerar que fue obra de una sola mente. Sin embargo, la Ciencia está lejos de ser una actividad realizada en solitario y la astronomía particularmente nos muestra la importancia de las comunidades y la interacción entre los astrónomos. Pero:

Pensemos juntos: *¿Cómo debe operar la autoría en la comunidad académica? ¿Qué reglas existen para que se reconozca la autoría y los aportes de una persona a la Ciencia?*

En el último apartado discutimos el papel de los bieses de género en la autoría en la Ciencia. Se propone discutir sobre el fraude y otras formas de mala conducta en la Ciencia.

Cuadro 19 - Recursos

Formatos	Enlaces
Videografía	https://www.youtube.com/watch?v=GdCVUmocWds&ab_channel=DonQuijoteDelaMancha https://www.youtube.com/watch?v=aD4S_7YvK28&ab_channel=TheScientificOdysseyPodcast https://www.youtube.com/watch?v=DM5piBqrwY&ab_channel=TheScientificOdysseyPodcast http://www.ianridpath.com/startales/tycho.html
Bibliografía	http://henrietta.iaa.es/el-har%C3%A9n-de-pickering-antonia-c-maury https://vcencyclopedia.vassar.edu/distinguished-alumni/antonia-maury/ Hoffleit, Dorrit "Antonia Maury" in Sky & Telescope, Mar. 1952, p. 106. Sobel, Dava. El universo de cristal. 2016, Viking. Includes some material on Maury's life and work. Vassar Encyclopedia Entry: http://vcencyclopedia.vassar.edu/alumni/antonia-maury.html Short biography on the Woman Astronomer site: http://www.womanastronomer.com/amaury.htm Short biography at Project Continua: http://www.projectcontinua.org/antonia-maury/ Short biography at Time magazine site: http://time.com/4262838/antonia-maury-astronomer/ https://www.loc.gov/rr/scitech/womenastro/womenastro-lm.html http://web.science.mq.edu.au/~orsola/MQTeaching/ASTR377/Hoffleit.pdf https://podcasts.apple.com/br/podcast/la-clasificaci%C3%B3n-espectral/id1475676524?i=1000459559441 https://es.findagrave.com/memorial/30605812/henry-draper http://atenea.pntic.mec.es/antares/obser0/07clasifestelar/p71.html#harvard
Texto original	https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1897AnHar..28....1M/0000008.000.html https://iif.lib.harvard.edu/manifests/view/drs:3007384\$1i

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3 III caso: Pensando globalmente, actuando localmente: teorizaciones de Julio Garavito- Armero sobre el problema de la aberración de la luz en Colombia.

El tercer caso se ubica en la historia cultural de la Ciencia. Este caso se desarrolla en el contexto colombiano, y procura reconocer algunos elementos sobre la investigación en Astronomía desarrollada en Colombia en el inicio del siglo XX y la comunicación con la comunidad internacional científica de la época que podría dar cuenta de la forma en que la Ciencia se desarrolló en Colombia y sus relaciones con la constitución de la nación.

En este sentido, se escoge el trabajo de Garavito sobre la aberración de la luz porque:

- 1) Es un fenómeno muy relevante en la Historia de la Física al ser considerado una evidencia-comprobación de la teoría heliocéntrica
- 2) Desde el siglo XVI fue un fenómeno observado que fue descrito geométricamente por Bradley en 1725. Sin embargo, representó un reto para los modelos de la naturaleza de la luz y puso en cuestión la idea del arrastre del éter.
- 3) El fenómeno permite discutir diversos contenidos como: modelos de la naturaleza de la luz, velocidad de la luz, diferencia entre aberración de la luz y paralaje estelar.
- 3) Fue investigado por diferentes científicos entre ellos Einstein y Lorentz, entre otros, en la búsqueda de “salvar el éter”, cuestionar el modelo ondulatorio y por tanto evidencia la riqueza creativa de la Ciencia.
- 4) Es un ejemplo que evidencia la circulación y transferencia del conocimiento científico, así como el “hacer Ciencia” como una actividad humana que se comunica en diferentes latitudes y que genera una relación entre lo local y lo global resaltando el papel de las instituciones, las publicaciones y las comunicaciones en la empresa científica.

Cuadro 20 – Planeación de la narrativa “Pensando globalmente, actuando localmente: teorizaciones de Julio Garavito- Armero sobre el problema de la aberración de la luz en Colombia” de acuerdo con las dimensiones de la Ciencia integral.

Pensando globalmente, actuando localmente: teorizaciones de Julio Garavito- Armero sobre el problema de la aberración de la luz en Colombia.			
NARRATIVA	OBSERVACIONAL	SOCIOCULTURAL	CONCEPTUAL
El fenómeno por fuera de la teoría ondulatoria de la Luz: La aberración estelar	Integridad de las pruebas		Importancia de las observaciones sobre la aberración de la luz como prueba de la Teoría Heliocéntrica. Relación entre el modelo vigente sobre la luz y el fenómeno de la aberración.
El papel de la Astronomía en los territorios de Ultramar: cartografiando las colonias e inventariando sus riquezas.		La fuente de financiación de Mutis: La corona española. Colaboración y competición entre expedicionarios y científicos en la Nueva Granada.	Espectro de motivaciones para hacer astronomía
El olvido del Observatorio Astronómico en la Colombia entre guerras y su rescate por ingenieros.		Las relaciones entre la estabilidad social y política y el desarrollo de un proyecto científico.	Espectro de motivaciones para hacer astronomía
La gravitación alrededor de Garavito y sus ideas mecanicistas sobre la Luz	El papel de la formalización matemática en la creación de teorías científicas		Presupuestos de las teorías ondulatoria y corpuscular de la luz Geometrías no euclidianas TER
La comunicación con astrónomos de la época.		La comunicación entre los astrónomos y la importancia de las publicaciones científicas.	

Fuente: Elaboración propia.

El fenómeno por fuera de la teoría ondulatoria de la Luz: La aberración estelar

Cuando miramos al cielo en el hemisferio norte, en cualquier época del año, encontraremos la constelación del Dragón y su estrella más brillante: Gamma Draconis. Uno de sus primeros registros formales esta consignado en “*El Almagesto*” de Ptolomeo que la describió como parte de las 48 constelaciones visibles, siendo la cuarta más grande. Al ser una constelación circumpolar en el norte es posible verla durante todo el año y en Londres, particularmente, es posible verla muy cerca del cenit. Estas características pueden justificar que Hooke, en 1674, se interesara por ella durante un año para medir la paralaje. Antes de él, el

astrónomo y geodesta francés J. Picard observó en 1671 variaciones anuales en la posición de la estrella polar, suponiendo que estaba frente al fenómeno de la paralaje, al igual que Flamsteed entre 1689 y 1697. Observar este fenómeno, advertido desde Aristóteles, era la prueba reina de que la Tierra se movía.

Quién tomó la batuta de este problema en Inglaterra nuevamente fue el astrónomo real James Bradley, que entre 1725 y 1726 registró los cambios en la posición de Gamma Draconis. Al iniciar sus observaciones en diciembre, la posición de la estrella coincidía con el cenit, al volver a registrar la posición en marzo, había una diferencia de $20''2$ hacia el sur y posteriormente registro otros $20''2$ hacia el norte, con respecto a la posición inicial, por lo cual, en todo el año, la estrella Gamma Draconis había tenido una amplitud total de $40''4$. En un viaje en velero, Bradley prestó atención a la vela de la embarcación. Le llamo la atención que la vela no estuviera dirigida en la dirección del viento, como tampoco en la dirección de la popa. Asimismo, al variar la velocidad del barco, también variaba la dirección de la vela, aunque el viento fuese el mismo. En este viaje concibió la idea de que el movimiento de la vela era producto de la velocidad del velero y de la dirección del viento, extendiendo la idea al fenómeno de la posición aparente de Gamma Draconis: su posición aparente dependía de la velocidad de la luz y la velocidad del observador en la Tierra.

Parte de las importantes observaciones que desarrollo Bradley sobre este fenómeno fueron: (a) Que las estrellas cuando cruzaban el meridiano a las 6 de la tarde, lo hacían en el punto norte más extremo. En cambio, si lo hacían a las 6 de la mañana, ocurría en el máximo apartamiento hacia el sur; (b) que la amplitud de la alteración de la declinación era proporcional al seno del ángulo que forma la estrella con la eclíptica, lo que lo llevaron a distinguirlo del fenómeno de la paralaje. Aunque parecidos, estos fenómenos ocurren en planos y con órdenes de magnitud diferentes. La paralaje se produce debido al movimiento de la tierra y del observador en ella, mientras que la aberración estelar depende del movimiento de la Tierra y la velocidad de la luz que emite la estrella.

La medición de la aberración estelar se convirtió en la primera prueba del movimiento de la Tierra alrededor del Sol e incluyó mejoras en los catálogos de la posición de las estrellas, pudiendo distinguir entre las estrellas fijas y nuevos objetos que surgen en el cielo, como novas y cometas. Sin embargo, nos introducimos en nuevos problemas como son ¿Cuál es la velocidad de la luz en el espacio? ¿la luz se mueve en el vacío? ¿es posible comprobar la existencia del éter? y ¿cómo afectaría al movimiento de la Tierra y la luz? Mientras estos debates acontecían en torno a la naturaleza de la luz, la medición de la paralaje de una estrella tuvo que esperar

hasta 1838, cuando el alemán Friedrich Wilhelm Bessel, haciendo uso de los potentes lentes acromáticos producidos en la época, pudo realizar la medición de la distancia de la Tierra a la estrella 61Cygni, en la constelación del Cisne.

El papel de la Astronomía en los territorios de Ultramar: cartografiando las colonias e inventariando sus riquezas.

Lejos de Londres, Colombia se erigía como una nueva república. Esta se extendió entre los 4° 13' 30" de latitud sur, hasta los 12° 27' 46" de latitud norte, y desde los 66° 50' 54" al occidente del meridiano de Greenwich por el oriente, hasta los 79° 0' 23" del mismo meridiano, y atravesada por la línea del Ecuador. Esta posición geográfica hace que la variación en la duración de los días y las noches sea imperceptible al igual que las estaciones, que es reemplazado por condiciones meteorológicas con dos periodos: de lluvia y sequía. Además, Colombia es bañada por los océanos Pacífico y Atlántico, atravesada por la cordillera de los Andes que se trifurca en el macizo colombiano y abriga una parte de la selva amazónica. Esta era una parte de la riqueza que los colonizadores españoles cartografiaron en sus múltiples expediciones en lo que denominaron el Nuevo Reino de Granada, conformado por Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador y Guyana.

En los territorios de ultramar la astronomía jugó un papel fundamental, pues solo a través del conocimiento del cielo fue posible navegar en altamar y cartografiar los nuevos territorios. Los navegantes y expedicionarios requerían registrar la latitud y longitud de un lugar nuevo por lo cual fue imprescindible para la empresa colonizadora establecer observatorios astronómicos en los territorios conquistados y mejorar los saberes astronómicos. En gran parte del siglo XVIII tuvieron lugar múltiples exploraciones al territorio colombiano, mapeando sus ríos y litorales, así como catalogando su flora, fauna y minerales en la búsqueda de comercializar los recursos naturales y generar una colonia autosuficiente.

Tres expediciones botánicas se lanzaron hacia Perú, Nueva España y la Nueva Granada, esta última liderada por José Celestino Mutis, un clérigo que llegó a Cartagena en 1760 como médico del virrey Pedro Messía de la Cerda y se radicó en Santafé, en donde introdujo los estudios de la Física newtoniana, la astronomía kepleriana y matemáticas en el colegio del Rosario para la formación de la elite criolla, no sin las debidas polémicas con la iglesia católica que iniciaron un juicio al mejor estilo de Galileo Galilei. Entre 1763 y 1764 Mutis le propuso al rey una expedición científica para beneficiarse de la minería, los saberes medicinales y especies de flora y fauna del Nuevo Reino de Granada. Su aprobación tuvo que esperar casi veinte años, en 1783, cuando el rey Borbón Carlos III aprobó el envío de instrumentos

científicos y el apoyo de técnicos alemanes y del minerólogo español Juan José d'Eluyan, quien era famoso porque con su hermano Fausto obtuvieron el Tungsteno o Wolframio.

Mientras tanto, Francisco José de Caldas (1768-1816), proveniente de una familia criolla de Popayán, suspendió sus estudios en el Colegio el Rosario debido a problemas de salud y se dedicó al comercio. Su espíritu autodidacta lo llevaron por los caminos de la meteorología, la astronomía, la geografía y la botánica. Caldas, con un ojo en los libros y otro en la naturaleza, exploró y registro las latitudes y longitudes de algunas ciudades, construyó instrumentos científicos de manera rudimentaria, compartió sus observaciones botánicas con Mutis y con Humboldt compartió algunos apuntes meteorológicos y astronómicos, también adquirió instrumentos científicos de los expedicionarios y del propio Humboldt para proseguir con sus investigaciones.

El proyecto de Mutis era ambicioso, con la influencia de la Ilustración y el grado de libertad que le producía estar en un territorio de ultramar, intento institucionalizar la Ciencia a través de un Observatorio Astronómico y un museo de Ciencias Naturales, mientras formaba a un grupo de estudiantes criollos en Matemáticas, Ciencias y Medicina, la mayoría de ellos con trágicos finales.

En 1802, Mutis inició la construcción del Observatorio de Colombia en la “casa de la Botánica” de Santafé, donde se concentraban los ejemplares recogidos de la expedición botánica que se desarrollaba paralela y rápidamente al saber de las habilidades astronómicas y meteorológicas de Caldas, pues por los comentarios de los exploradores franceses y del propio Humboldt, Mutis lo invitó a hacer parte de esta expedición. Durante cuatro años Caldas viajó por la costa de Ecuador y el territorio colombiano registrando observaciones astronómicas y meteorológicas. Así, cuando llegó al Observatorio de en 1805 se instaló con los instrumentos adquiridos a Humboldt y en su expedición a Quito, sus notas observacionales y sus ejemplares botánicos. Su primera tarea fue trazar la meridiana sobre el piso del salón, lo que puso en evidencia la mala orientación de la construcción del observatorio que fue creado bajo modelos del primer observatorio de Greenwich y las torres del Observatorio de París, desconociendo los nuevos modelos y la localización ecuatorial de Santafé. Formalmente en 1808, después de la muerte de Mutis, se convirtió en el director del Observatorio en Colombia por mandato real.

Con la cesión del trono a Napoleón Bonaparte y los vientos de la revolución francesa en América, se inició el proceso independentista de la corona española en 1819 bajo el liderazgo de Simón Bolívar y en el que Caldas, al igual que otros discípulos de Mutis se involucraron activamente. Caldas abandono la astronomía y se dedicó, como estrategia, a la preparación de

tropas para las batallas. Su suerte estaba lanzada y en 1815 fue capturado en la reconquista española. Los infructuosos esfuerzos de su familia y de otros tantos que escribieron a Morillo pidiendo el indulto no bastaron y en 1816 fue colgado después de que su verdugo pronunciara la frase “España no necesita sabios”. Humboldt lo consideró un “infortunio”

El olvido del Observatorio Astronómico en la Colombia entre guerras y su rescate por ingenieros.

Después de las luchas independentistas en el territorio colombiano era necesario organizar y delimitar el territorio. El Nuevo Reino de Granada, después del proceso de liberación fue brevemente la Gran Colombia entre 1819 y 1831 con Venezuela, Panamá y Ecuador principalmente, pero la reconquista al igual que las guerras civiles que le sucedieron generó la necesidad de delimitar nuevas fronteras y el desarrollo de proyectos educativos que se dieron de la mano de misiones francesas y alemanas. También se abrió el comercio con Europa y la élite criolla puso su interés en el intercambio comercial y el desarrollo industrial del país. Con esto en vista, la astronomía no era más útil, excepto para la demarcación de las fronteras, pero las anteriores expediciones habían dejado mapas y cartas con las que se podía trabajar. Además, después de la captura de Caldas, el Observatorio fue desmantelado y todos sus instrumentos científicos y libros vendidos o extraviados. Morillo no dejó rastro de la Ilustración en la Nueva Granada. Los tres directores del Observatorio Astronómico siguientes a Caldas no tuvieron más remedio que enfocarse en medidas meteorológicas.

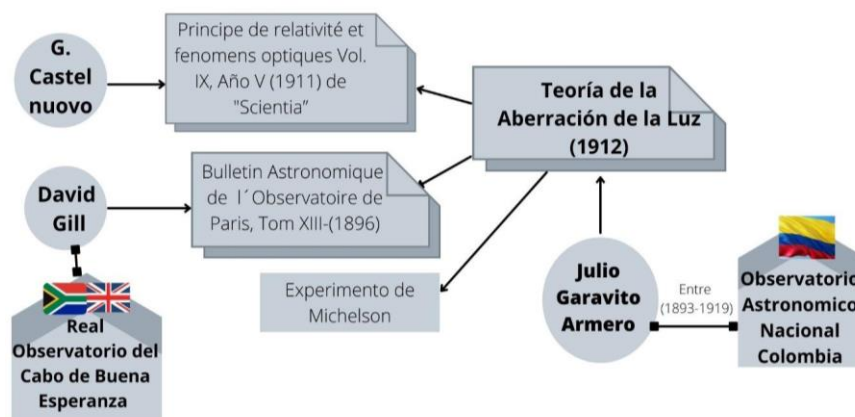
Al fundar la Academia Militar en 1847, se abrieron las puertas nuevamente del Observatorio para formar ingenieros civiles y oficiales ingenieros en Astronomía, en la búsqueda de modernizar el país, pero la inestabilidad política sometió al Observatorio al olvido. Soló hasta 1862 cuando el ingeniero Indalecio Liévano retomó tareas en el Observatorio como jefe de la oficina central del cuerpo de Ingenieros Nacionales se volvió a usar para realizar observaciones astronómicas y meteorológicas. Cinco años después el bello predio que albergó alguna vez a la Ciencia en Colombia fue usado como cárcel para el presidente Tomas Cipriano de Mosquera en 1867 quién pensaba asumir un cuarto mandato y proclamarse dictador, cerrando el congreso. Después de eso, el Observatorio fue bodega y basurero.

Este golpe militar con apoyo del partido liberal generó el cierre del Colegio Militar y todos sus estudiantes, profesores e instituciones como el Observatorio Astronómico fueron asignados a la Universidad Nacional de Colombia, creada en ese mismo año. La suerte del Observatorio quedó en manos de Ingenieros civiles que, cómo Liévano, vincularon la

astronomía con la Ingeniería, se enfocaron en observaciones astronómicas y meteorológicas y pusieron el foco en la astronomía dinámica y matemática para la elaboración de tablas y efemérides que sirvieran a los navegantes y exploradores.

Después de Liévano, el ingeniero José María Gonzáles Benito, estuvo intermitentemente frente el Observatorio entre 1866 y 1892. Su estancia como cónsul en Southampton- Inglaterra fue fructífera, pues le permitió adquirir instrumentos y establecer relaciones institucionales y personales que beneficiaron al Observatorio Astronómico. Entre estas relaciones personales se destaca la que tenía Gonzáles con el astrónomo francés Camile Flammarion, quien fue su padrino de matrimonio y por el que erigió un observatorio privado en Santafé. Gonzáles Benito fue miembro de diversas instituciones científicas internacionales como la Royal Astronomical Society, la Sociedad Astronómica de Francia, la Academia Universal de Ciencias y Artes de Bruselas, la Sociedad Astronómica de Bélgica, entre muchas otras, por lo cual sus observaciones y mediciones sobre el tránsito de Mercurio y Venus frente al disco solar, la observación de cometas y estrellas fugaces, entre otras, se pueden encontrar publicadas en el *L' Astronomie*, una revista de Astronomía fundada por el propio Flammarion.

Los trabajos de Gonzales Benito no se alineaban del todo con los proyectos modernizadores y prácticos de la élite que dirigía el país. Mientras tanto, avanzaba la formación de personal en la Escuela de Ingeniería, y la conformación de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, creada en 1887, que empezaron la difusión de algunos métodos para la determinación de longitudes y latitudes, así como efemérides que servían para aliviar las demandas de demarcación de terrenos. El Observatorio astronómico había tomado un rumbo con fines prácticos desde 1892, de la mano del profesor de matemáticas e Ingeniero Julio Garavito Armero (1865-1920) que también participó en la determinación de las coordenadas geográficas de Colombia y la delimitación de las fronteras con Venezuela, así como la creación de la oficina de Longitudes en 1902, todo esto en un periodo turbulento de guerras y cambios en el poder. (Ver Figura 34).

Figura 34– Relaciones entre las instituciones y los astrónomos en la red de Julio Garavito

Fuente: Elaboración propia.

La gravitación alrededor de Garavito y sus ideas mecanicistas sobre la Luz

En la joven república de Colombia y casi cincuenta años después del asesinato del sabio Caldas, nació Julio Garavito Armero en 1865. Si bien no provenía de una clase social alta, pues su padre era comerciante y su madre ama de casa, tuvo acceso a educación en el colegio de San Bartolomé, obteniendo el título de Bachiller en filosofía y letras. Rápidamente resaltaron sus habilidades en matemáticas, como lo notó su profesor y director del Observatorio Astronómico Luis Lleras, padre de su amigo Ricardo Lleras Codazzi. Este último relata la siguiente anécdota:

Un día, durante el almuerzo, me atrevía a hacer a mi padre (don Luis Lleras), esta pregunta:

- ¿Quién ganará este año el premio de Geometría?"

- "Querrás decir cuál es, a mi juicio, el mejor alumno. Tú que conoces más a fondo a tus compañeros, pues que vives con ellos, ¿quién crees honradamente que merezca el premio?"

"Pronuncié los nombres de aquellos de mis camaradas que yo creí invencible y delante del tablero: Eduardo Saldarriaga, Julio Rueda, Félix Pabón, etc., pero mi padre movía la cabeza de un lado a otro y sonreía con sorna.

"Todos ellos, me dijo, son buenos alumnos, y probablemente obtendrán una alta calificación, pero hay uno que no has nombrado, a quien ninguno puede superar: Julio Garavito. Ese joven que se expresa con tanta dificultad es, de todos los estudiantes que he conocido, el único que tiene verdadero espíritu matemático [...] Procura cultivar su amistad, que te será provechosa en el curso de tu vida"

Su afición a las matemáticas, la guerra sin fin y los buenos amigos, en los que destacaba el geógrafo Ricardo Lleras Codazzi, nieto del coronel y cartógrafo Agustín Codazzi, llevaron a Garavito a fundar una sociedad secreta llamada “El círculo de los nueve puntos” que se reunía en torno al café y que el propio Ricardo Lleras describe de la siguiente manera:

Fue durante la guerra de los tres años cuando nació y tomó cuerpo una de las asociaciones más extrañas y originales de que se tiene noticia, en un ambiente tan frívolo y superficial como el nuestro: quiero hablar del Círculo de los nueve puntos. Unos pocos aficionados a las matemáticas, de carácter un poco huraño, medio misántropos o misántropos por completo, dieron en gravitar alrededor de Julio, atraídos por la fuerza irresistible de su inteligencia y fascinados por su superioridad innegable, como las mariposas alrededor de una luz intensa, al calor de su trato afable y sencillo, bajo la impresión indeleble de su conversación altamente instructiva y por la influencia de la comunidad de ideas, se fue constituyendo gradualmente una especie de club o círculo, que bien pronto tuvo un ceremonial especial, bastante simbólico por cierto. La Sociedad en cuestión se designaba con el nombre de Círculo de los nueve puntos, como un homenaje a la memoria de Euler, por el teorema que lleva ese nombre; sus miembros se llamaban ‘puntos’ y no podían ser más de nueve porque son nueve los puntos cíclicos relacionados con el triángulo de Euler (los tres pies de las perpendiculares, los tres pies de las medianas y los tres “puntos de Euler” sobre las alturas), ni podían ser menos de tres porque tres puntos, no situados en línea recta, determinan un círculo en posición y magnitud; por igual razón había quórum con solo tres de los ‘puntos’. Las libaciones se efectuaban con café líquido, del cual se consumían enormes cantidades. Los ‘puntos’ tenían que ser aficionados a las matemáticas y especialmente apasionados a la geometría; por último, cada uno debía dar una demostración del teorema de Euler.

Solo sabemos que Garavito, Codazzi y uno de sus discípulos y posterior director del Observatorio Astronómico, Jorge Álvarez Lleras, pertenecían a esta sociedad secreta.

En 1896, Garavito siendo director del Observatorio aborda el problema propuesto por el astrónomo David Gill (1843-1914) sobre la constante de la aberración anual publicado en el Bulletin Astronomique de l’Observatoire de Paris. Tom XIII, 1896. En la apertura de su artículo titulado “Teoría de la Aberración de la luz” inicia con la siguiente provocación:

Fue el año de 1896, después de haber leído la Memoria del Profesor Gill, nos propusimos estudiar el citado fenómeno de acuerdo con la teoría ondulatoria. Aceptábamos en ese tiempo, como lo aceptamos hoy, el arrastre total del éter por la atmósfera de la tierra. No hemos podido concebir la refracción de la luz en las capas sucesivas de la atmósfera sin

admitirlo. Los experimentos de Michelson nos han parecido superfluos, pues para nuestra manera de ver semejaban a la tentativa de medir la velocidad de un tren con un anemómetro colocado en el interior de un vagón cerrado.

Y luego justifica su empresa diciendo:

Últimamente hemos tenido ocasión de leer un artículo del Profesor G. Castelnuovo: Principe de relativité et phénomènes optiques, publicado en el Vol. IX, Año V (1911) de "Scientia", y por el cual se ve que el problema propuesto a los físicos por el Profesor Gill no ha sido resuelto.

La laudable ambición de abarcar en una teoría general todos los fenómenos de la luz y del electromagnetismo, ha llevado a los físicos modernos demasiado lejos para poder dedicar su atención a un asunto, en cierto modo elemental, y han dejado sin respuesta esta cuestión, que interesa sólo a la Ciencia Astronómica.

Si bien la Aberración de la luz era un fenómeno que aún no se encajaba en una teoría de la naturaleza de la luz en especial, el método matemático desarrollado por Bradley funcionaba bastante bien. Por tanto, la empresa de Garavito con esta discusión sobre la aberración de la luz era salvar la teoría y refrendar la existencia del éter. El abordaje tenía que ser lo más objetivo posible, esquivando las posibles hipótesis sobre la naturaleza de la luz, así que decidió desarrollar su razonamiento a partir de la energía y el principio de mínima acción de Maupertuis. La belleza del principio de Fermat según el cual la luz emplea no la mínima distancia sino el mínimo tiempo en su recorrido entre dos medios, fue retomado por Louis Maupertuis que lo extendió a la mínima acción y que grosso modo se puede enunciar como “la naturaleza es económica en todas sus acciones”. Bajo esta idea, Maupertuis deduce la ley de Snell y encuentra que la velocidad de la luz debe ser menor en el medio más denso.

Posteriores experiencias de Fizeau con la luz en el agua, utilizando el principio de Maupertuis son interpretadas como la prueba de la existencia del arrastre del medio a la luz, lo que llevaría a pensar que es posible que la Tierra arrastre al éter en su movimiento. Esta discusión sobre el arrastre del éter, para salvar la teoría, generaba problemas para explicar la aberración de la luz, pues como notó Fresnel si el movimiento de la Tierra no afecta la velocidad de la luz, entonces, el éter (o vehículo de la propagación electromagnética) es arrastrado por la Tierra o transportado por ella en su movimiento. Por esta razón, Garavito menciona: *No tenemos derecho de suponer en reposo absoluto el medio en el cual se propaga la luz; puede éste quizás*

desalojarse en el espacio con nuestra Vía Láctea, con relación al vehículo que transmite la gravitación, por ejemplo.

El planteamiento de Garavito, por tanto, para analizar el fenómeno de la aberración de la luz es el de la conservación de la cantidad de movimiento y la mínima acción como la integral de esa cantidad de movimiento en una trayectoria, desde la hipótesis que enuncia de la siguiente manera:

- lo que llega a nuestra vista es propiamente una energía mecánica, la cual ha sido transportada, sea por una sola masa mecánica (hipótesis balística), sea por una serie de masas intermedias (hipótesis ondulatorias), pero dicho transporte debe obedecer a las leyes más generales de la Mecánica, [...]

La deducción matemática de Garavito es que la incidencia relativa de la luz es constante e igual a v_o/a , donde v_o es la velocidad de la luz con relación al éter y a es la velocidad de la luz en el aire. Finalmente, Garavito concluye que la constante de la aberración anual es correcta y considera que la interpretación de Huygens sobre el efecto de la superposición de las ondas utilizando la analogía de las ondas de agua no es correcta.

Su discípulo, Jorge Álvarez Lleras se propuso recopilar los trabajos de Garavito y brindar un primer informe en 1915. En este documento explica el contexto científico internacional y los trabajos sobre Óptica Matemática que había desarrollado su maestro, él menciona: *“Este notabilísimo trabajo es el que presento a la sociedad por medio del informe que se me ha pedido, y que rindo gusto, por cuanto la obra del Doctor Garavito es fruto de laboriosas investigaciones y debe ser timbre de honor para su autor y para la Sociedad, que se honra en contarle entre sus miembros de número”*.

En este informe también menciona brevemente una réplica que le hizo el director del Observatorio de París de entonces, Benjamin Ballaud (1848-1934) a Garavito sobre el arrastre total del éter: *“Cuando el doctor Garavito escribió su opúsculo: “Notas sobre óptica matemática”, el señor Ballaud, actual director del Observatorio de París, le hizo la observación de que el arrastre total del éter, por la atmosfera de la Tierra, no estaba de acuerdo con la experiencia de Fizeau, pues según ella el arrastre del éter es solamente parcial”* Pero Lleras hace caso omiso de este tipo de cuestionamientos y continua resaltando los trabajos de Garavito en defensa de los principios de la mecánica.

El rechazo de Garavito a las geometrías no euclidianas.

Algunos historiadores han acusado a Garavito de ser uno de los responsables, sino el responsable directo por las dificultades en la recepción de las teorías de la relatividad en Colombia. Sin embargo, otros han salido en su defensa abogando condiciones institucionales y sociopolíticas que explicarían esta acérrima posición que Garavito mantuvo hasta el lecho de su muerte. En una de sus cartas Garavito dijo:

¿Ahora cuál es el alcance de la cinemática de Einstein? Hela aquí: La velocidad de la luz en el vacío es constante con relación a un sistema cualquiera y su aplicación práctica es que la velocidad de la luz con relación a la Tierra fuera de la atmósfera es la misma en todos los sentidos. Si Galileo hubiese sabido que, pasados tres siglos y medio después de su abjuración ante el Santo Oficio, la más sublime intelectualidad del centro mundial más sabio del mundo sostenía la hipótesis de la velocidad de la luz, de seguro que no hubiera protestado de su abjuración en su célebre E pour si move (sic) [Lo correcto es: E Pur si move] (Fecha: 02/12/1891) (SÁNCHEZ, 2007).

Las enseñanzas de la mecánica newtoniana llegaron con Mutis a la Nueva Granada en 1774, por lo cual, en la época de Garavito, solo habían transcurrido poco más de 120 años. Después de la muerte de Garavito en 1920, se publicó en Colombia el primer artículo que divulgaba y presentaba una síntesis rigurosa de las teorías general y especial de la relatividad de manos del ingeniero Darío Rozo Martínez en 1923. Pero esto no quiere decir que no se conocieran los trabajos de antecesores como Fizeau y Lorentz. Por el contrario, Garavito estudio atentamente las geometrías no euclidianas, como consta en el artículo publicado en los Anales de la Sociedad de Ingeniería y en los cuadernos de notas. El propio Garavito dice con respecto a este tema:

*Se necesita una perversión intelectual como la que existe hoy en Europa para poder digerir la geometría no euclidiana. El cerebro no se perfecciona indefinidamente, sino que se perfecciona con la herencia de los antepasados. La herencia de diez o veinte generaciones hacen sustituir en la masa cerebral las intuiciones de la propia naturaleza por el convencionalismo nominalista hasta el punto de conferir a las palabras y a las convenciones una realidad mayor que la de los hechos mismos. Las ideas de Einstein sobre el eje de los tiempos demuestran de manera palmaria como se pueden formar generaciones de locos intelectuales, es decir, de gentes que nacen locas sin volverse locas.*⁵⁹

Esta fuerte opinión de Garavito fue compartida por otros matemáticos, ingenieros y físicos de la época en diferentes latitudes que consideraron que dislocar la geometría euclidiana de su centro implicaría el derrumbe de todos los edificios lógicos y científicos que por más de

⁵⁹ Extracto tomado de Sánchez (2007).

dos mil años se habían construido en las paralelas cortadas por una secante. Particularmente, el edificio de la Física newtoniana que se erigía en un espacio plano, absoluto y tridimensional, donde la materia obedecía las reglas sagradas de la geometría euclidiana.

Infelizmente no se tienen noticias de que Garavito haya conocido los trabajos de Eddington después de las fotografías del eclipse de Sol en Sobral que comprobaron la teoría general de la relatividad de Einstein. Si bien es posible que su discípulo, Jorge Lleras, que asumió la dirección del observatorio Astronómico y la presidencia de la Sociedad de Ingenieros de Colombia conociera posteriormente estos trabajos, pero continuara pregonando un anti-relativismo acrítico.

Resulta interesante imaginar que hubiese pensado Garavito después de este suceso astronómico y cómo habrían modificado su percepción del espacio y la astronomía sino hubiese sido el baricentro del círculo de los nueve puntos, sino un punto más para pensar “fuera de las líneas”

Ideas didácticas

El trabajo de Garavito visto con fines didácticos se podrían abordar aspectos propios de la naturaliza de la Ciencia, em donde se reconozca la actividad científica *como una serie de prácticas situadas localmente, pero, a la vez, inmersas en sistemas mucho más amplios [...]* (POHL VALERO; GONZÁLEZ SILVA (eds.), 2009), lo cual avanzaría hacia una comprensión de la interacción entre la Ciencia local y global, comprendiendo que una de las características de la Ciencia occidental fue su expansión en las colonias.

1. El fenómeno por fuera de la teoría ondulatoria de la Luz: La aberración estelar

Pensemos juntos: *¿Qué fenómenos podemos evocar que comprueben el movimiento de la Tierra alrededor del Sol?*

En la primera parte de la narración exploramos el contexto científico del cálculo y estabilización del problema de la aberración de la luz. Este fenómeno es interesante en la Historia de la Ciencia porque muestra que, si bien es posible estabilizar el hecho científico a través de sus datos, no siempre es fácil “encajarlos” en una teoría.

Para este apartado inicial sería interesante explorar la constelación del Dragón y fijar las observaciones de la estrella Gamma Draconis que llevan a Bradley al cálculo de la Aberración estelar para, posteriormente, discutir porque es una comprobación de la Teoría Heliocéntrica.

Asimismo, podemos explorar qué relación tienen los fenómenos mencionados por Einstein, que, según él, implicaron mover los cimientos de la Física. También podríamos revisar los argumentos del arrastre del éter de Fresnel para salvar la teoría a través del éter.

2. El papel de la Astronomía en los territorios de Ultramar: cartografiando las colonias e inventariando sus riquezas.

Pensemos juntos: ¿Qué relación existe entre el desarrollo de la Astronomía y la Ciencia en Europa con la expansión a otros territorios?

En este apartado de la narración buscamos introducir el contexto metacientífico que antecedió el trabajo de Julio Garavito Armero y mostrar los propósitos de la empresa científica en las colonias, que iban más allá de la adquisición de nuevo conocimiento, por tanto, evidencia la fuente de financiación de Mutis: La corona española.

Lejos de una visión de Ciencia neutral y objetiva, lo que se resalta es como la empresa científica se articula a una empresa mayor de control y poder, en la que la medición y la clasificación son prácticas que tienen en su seno una pretensión de apropiación y dominación de la naturaleza, el territorio y el otro. A propósito, Nieto Olarte (1995) menciona que: *El poder, debemos suponer, se ejerce a través de prácticas sociales concretas tales como la historia natural, la taxonomía, la elaboración de mapas, cartas estelares y de navegación, prácticas médicas o la implantación de una nueva tecnología.*

Por otro lado, el caso de Caldas es particularmente interesante porque muestra la preocupación científica y desarrollos propios y locales que dialogan con lo que se estaba haciendo en otras latitudes. En la Historia de la Ciencia se ha reseñado la conflictiva relación entre Humboldt y Caldas, justamente por la autoría de algunas observaciones sobre la quina que Caldas desarrollara y que fueron atribuidas a Humboldt y Mutis. Estos saberes ancestrales fueron apropiados para la explotación y comercialización de los recursos naturales de la Nueva Granada, apagando también la memoria y epistemología indígena que habitaba los territorios de América antes de la colonia. Por tanto, este contexto metacientífico puede traer reflexiones sobre la colonialidad del saber y las colaboraciones y/o competiciones entre expedicionarios y científicos en la Nueva Granada.

Por otro lado, también es importante analizar el papel que jugó la instauración de instituciones científicas como el Observatorio Astronómico, la casa Botánica y la Escuela de minas en la constitución de la nación.

3. El olvido del Observatorio Astronómico en la Colombia entre guerras y su rescate por ingenieros.

En este apartado de la narración se destaca la relación entre la Ciencia y el proyecto político de los gobiernos después de la independencia. Los periodos de inestabilidad y la guerra dejan poco espacio y recursos para la Ciencia y sus desarrollos. Desde una dimensión sociocultural, el caso del Observatorio Astronómico evidencia el rumbo práctico y el foco en la astronomía matemática que toma el programa astronómico asociado a las necesidades de la reciente nación.

También es importante resaltar la constitución de sociedades, escuelas e instituciones de ingenieros, que fortalecieron su gremio a través de acciones que respondían a las necesidades sociales, como es la publicación de efemérides para la delimitación de los terrenos.

4. La gravitación alrededor de Garavito y sus ideas mecanicistas sobre la Luz

Pensemos juntos: ¿Qué papel juega la crítica y la revisión de pares en la Ciencia?

En este apartado resaltamos algunos fragmentos de personas que estuvieron alrededor de Garavito y que pudieron determinar su influencia en el contexto científico colombiano.

La revisión del manuscrito original donde discute el problema de la aberración de la luz nos muestra que, aunque eran periodos de alta inestabilidad política y social, existía una comunicación con la comunidad internacional que se evidencia en los conocimientos sobre las discusiones de la época.

En la revisión de sus supuestos e hipótesis sobre la aberración de la luz se puede discutir la barrera epistemológica (MARTÍNEZ-CHAVANZ, 2004) que se evidencia en las críticas al experimento de Michelson Morley y los intentos de unificación de la Física. Lo que Garavito intentaba salvar era el espacio euclidiano y la Física newtoniana. Esto, más allá del error que pudo provocar en sus supuestos, es un caso que evidencia los obstáculos, de diversas fuentes y tipos, que aparecen en la aceptación de una teoría en la comunidad científica y la necesidad de debatir estas ideas.

El rechazo de Garavito a las geometrías no euclidianas.

Pensemos juntos: ¿Qué papel tiene la formalización matemática en la aceptación y/o cambio de una teoría a otra?

Algunos historiadores consideran que la recepción de la TER pudo tener en cuenta tres factores que afectaron su aceptación, estos son: su capacidad predictiva y explicativa empírica;

su contexto sociohistórico de producción, y su formalismo matemático, asociado a un sentido de lo estético (DREWES; PALMA, 2006). Por tanto, este caso local ofrece una oportunidad para explorar las complejas discusiones sobre la aceptación de una teoría en una comunidad científica, en contraposición a la idea ingenua de que todo “descubrimiento” se incorpora, sin resistencia, al corpus de la Ciencia, solamente probando su valor de verdad y objetividad.

En ese sentido, es importante en este apartado resaltar el papel de la comunidad científica y la necesidad de una comunicación crítica entre pares que contribuyan a apurar la objetividad.

En este apartado sería interesante recrear las posiciones anti relativistas de Garavito y Álvarez Lleras y las posibles respuestas de una comunidad científica enterada de los desarrollos de la TER.

Cuadro 21 - Recursos

Formatos	Enlaces
Videografía	https://www.youtube.com/watch?v=3JaFVH36WHQ&t=390s&ab_channel=ExplainingScience https://www.youtube.com/watch?v=V-1uOW8McNU&ab_channel=Banrepcultural https://www.youtube.com/watch?v=iqr_mhptgLY&ab_channel=Banrepcultural
Bibliografía	https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/28788 Historia de la Astronomía en Colombia Greiff (19XX) https://catalogoenlinea.bibliotecanacional.gov.co/client/es_ES/search/asset/70085/0 https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00185958
Texto original	https://www.accefyn.com/revista/Vol_1/59-65.pdf

Fuente: Elaboración propia.

6.4 La formación de la mirada caleidoscópica de una formadora novel: reflexionando sobre la experiencia

El proceso de construcción de las narrativas para la formación de profesores de Física hizo parte de mi propia formación como formadora novel de profesores de Física. Por tanto, en este apartado mi objetivo es volver sobre el ejercicio realizado en la búsqueda de reflexionar sobre mi propia configuración de una mirada caleidoscópica de la Ciencia y la tecnología para dirigirla al currículo.

En cada uno de los casos se presentó una justificación de la elección realizada, sin embargo, en el transcurso del proceso de configuración de los casos, estas decisiones se

afianzaron. La reflexión que tejó en este apartado se refiere a tres elementos: el contexto potencial, la construcción de la narrativa y la formación de mi propia mirada caleidoscópica sobre la Ciencia y la tecnología para la formación y enseñanza de las Ciencias.

“Lectura de contextos” de una formadora novel

Llamo contexto potencial a aquel que imaginamos cuando, en el rol de formadores, emprendemos la planeación didáctica y que desde propuesta de *Abordagem Multicontextual de la HC (AMHC)* incluye los contextos: científico, metacientífico y pedagógico (MOURA, 2012), en un estado inicial y operativo. Moura (2012) define los contextos: científico, metacientífico y pedagógico de la siguiente manera:

- El contexto científico es la dimensión de estudio de los episodios históricos en los que se analizan los conceptos científicos inmersos en él. Esto no se reduce a la comprensión acrítica de los conceptos, como reglas que hay que memorizar, sino a la comprensión de su génesis, estructura y validez dentro del contexto en el que se produjo (MOURA, 2012, p. 99).
- El contexto metacientífico implica mirar los episodios desde fuera, tratando de establecer la presencia de aspectos históricos, epistemológicos, filosóficos, sociológicos y culturales en el desarrollo del conocimiento científico (MOURA, 2012, p. 106)
- El contexto pedagógico está constituido por momentos que propician la construcción del conocimiento didáctico-pedagógico para que el estudiante movilice su actitud crítico-transformadora en su futura práctica docente; es mirar la historicidad del conocimiento a través de la lente del aula (MOURA, 2012, p. 113).

Cuando inicié el proceso de construcción de los episodios históricos tuve como norte estos tres contextos de manera potencial, esto es, las decisiones didácticas que tomamos en el transcurso del proceso implicaron respuestas contingentes a 1) quienes son las y los posibles estudiantes-destinatario 2) en que espacios de formación se podría desarrollar la propuesta 3) cual es el currículo propuesto 4) cuales son los fines de la formación en un espacio de tiempo en que se desarrolla este proceso y cómo se articulan al proyecto de formación general 5) que sé sobre estos casos de la Ciencia.

Si bien este contexto potencial no necesariamente coincide con el contexto real y lo ideal sería que la distancia entre los dos fuese lo más pequeña posible, también es cierto que no es posible conocer todas las variables contextuales, por lo cual abraza el Principio de Incertidumbre Didáctica, esto es: “*(Al enseñar) No es posible ser totalmente preciso y, a la vez, totalmente comprensible*” (IZQUIERDO AYMERICH *et al.*, 2016, p. 23) como un bien mayor que ejercito mi flexibilidad y comprensión de la complejidad de la empresa emprendida.

En ese sentido, aparece un primer elemento en la formación de una mirada caleidoscópica y es la de reconocer que la “lectura de contexto” que realizamos como

formadores se compone de pequeñas aproximaciones que se complejizan (o no) y se constituyen de nuestros saberes, conocimientos, experiencias y búsquedas.

Así, el contexto pedagógico potencial proyectado en la construcción de casos, lo situé en el mismo espacio de esta investigación: una universidad pública en el suroccidente de Colombia, con formadores de profesores que actúan en espacios curriculares de Historia y Enseñanza de las Ciencias, Historia y Enseñanza de la Tecnología, Física IV (Óptica y Física moderna). El contexto potencial científico para los tres casos en mi primera lectura fue la óptica astronómica del siglo XIX y XX, con foco en la práctica, la observación y la formalización matemática, por lo cual intente resaltar las complejas interacciones entre práctica y teoría. Por último, el contexto metacientífico potencial fue tal vez el más difuso en mi lectura, pues los tres casos correspondían a tres momentos históricos y ubicaciones geográficas diferentes que no conecte en un principio, si bien el caso de Fraunhofer es más conocido en la Historia de la Física, poco conocía de sus problemas e intereses y más de su principal producto: las líneas de Fraunhofer. Antonia Maury fue todo un descubrimiento pues no conocía casi nada sobre las calculadoras de Harvard, hasta la película *Talentos Ocultos* (Hidden figures) dirigida por Theodore Melfi; Por último, Julio Garavito Armero que su imagen aparecía en el antiguo billete de 20000 pesos colombianos. Poco sabía de él, excepto por la feliz coincidencia de una tarde en Francia con su mayor biógrafo, el profesor y físico Regino Martínez-Chavanz.

Manos a la narrativa

El refrán dice -Del dicho al hecho hay mucho trecho- y justamente esto describe el proceso de construcción de las tres narrativas desarrolladas en esta tesis.

Cómo indique al inicio de este capítulo, las narrativas para trabajar episodios históricos en la formación de profesores son un recurso muy potente. Allchin (2011) nos advertía de algunos errores en los que podríamos incurrir a la hora de construir estas narrativa y tanto (REVEL CHION; ADÚRIZ-BRAVO, 2014) proporcionaron un buen ejemplo y algunos elementos a considerar en su construcción. El proceso de construcción de las narrativas no fue lineal, por el contrario, hubo un vaivén entre las fuentes historiográficas, las ideas iniciales de estructura narrativa y los buenos ejemplos.

Uno de los primeros retos que se presentó fue el tipo de texto. Usualmente las tesis y los artículos pertenecen a una tipología textual argumentativa, por lo cual, sentí que me era difícil fluir de la argumentación a la narración. Parecía que otra competencia debía ser desplegada. Una en que pudiera equilibrar los hechos históricos, las explicaciones y las

suposiciones con una forma atrayente al lector. Este reto fue superado en parte, volviendo a la lectura de narrativas para familiarizarme con la estructura narrativa.

Por otro lado, Allchin (2011) nos advirtió de la importancia de las fuentes historiográficas. En ese sentido, para la construcción de las narrativas también abordé los artículos originales, dos de ellos en su idioma original (inglés y español) y una traducción del alemán al inglés del texto de Fraunhofer. El reto asociado a las fuentes historiográficas fue su volumen e idioma y la necesidad de historiografiar no solo el personaje, sino los objetos de estudio, por ejemplo, en el caso de Fraunhofer, fue importante comprender la historia del vidrio y su papel en la consolidación de industrias en el siglo XIX, en el de Antonia los catálogos estelares y en el de Garavito las geometrías euclidianas.

En este paso es justamente donde siento que mi mirada caleidoscópica fue configurándose de manera crítica y dinámica. La lectura de diversas fuentes me llevó hacia dos preguntas que también servían para revisar mi propia escritura: ¿qué intenciones puedo inferir de la narrativa y, por tanto, quienes son sus autores? y ¿qué hechos se escogen para construir la narrativa? Poco a poco fui viendo/construyendo los puentes entre los tres casos a través de los problemas científicos, las necesidades del contexto y las condiciones sociopolíticas en las que se enmarcaban los casos. Por ejemplo, Fraunhofer al igual que Garavito participan en la construcción de la oficina de Longitudes, ellos difieren en el tiempo, casi 100 años, sin embargo, la constitución de los estados nación en una economía capitalista pasa por la medición y conocimiento de los recursos. La tierra como uno de esos recursos sobre el cual se cobran impuestos, se determina la propiedad privada y se marca la extensión y/o expansión del territorio, es fundamental.

La construcción de la narrativa del caso de Antonia Maury me llevó a reflexiones sobre mi propia identidad como investigadora y las brechas de género en términos de salarios y autoría que aún persisten.

Otro reto en la construcción de las narrativas fue cuidar de no caer en los errores que Allchin (2011) menciona: la mitificación y/o caricaturización de las y los científicos a través de la retórica, en la cual aparece la monumentalidad y el foco en un científico todopoderoso, en contraposición al papel de la comunidad científica, al contexto social y la omisión de factores como el azar y la contingencia, así como cuestiones de carácter y rasgos de las y los científicos que puedan evocar errores y defectos.

El segundo error es la idealización, que aparece por una excesiva simplificación y descontextualización. La ausencia de errores, discrepancias, callejones sin salida, muestran una historia “perfecta” donde todo se sucede en un orden perfecto.

El tercer error es el drama afectivo, es decir, en la historia se deben incluir elementos que activan el entretenimiento y el enganche emocional con el lector, esto se puede hacer a través de recursos retóricos, sin embargo hay que prestar atención a: a) la emoción del momento del descubrimiento b) la lucha contra los críticos y oponentes c) la agradable sorpresa del azar d) la recompensa de la integridad e) la vergüenza f) la ironía trágica del conocimiento obtenido a través de otro ser humano. No se trata de que no aparezcan sino del equilibrio y su uso adecuado.

Por último, la explicación naturalizada requiere una atención especial, pues si bien la narrativa se construye con fines explicativos y procura dejar una moraleja, está puede ser reducida a “cómo la Ciencia encuentra la verdad absoluta”

En resumen y en palabras de Allchin

Debido a la idealización, el método simple se considera suficiente para dar cuenta de todos los logros científicos. Debido a la monumentalidad, la autoridad resultante es monolítica. Debido al drama afectivo elaborado retóricamente, los rasgos, aunque sean engañosos, se vuelven emocionalmente convincentes. En última instancia, pues, los mitos son formas de persuasión. Están cargados de valores. La historia es una forma de legitimar el proceso del descubrimiento tal y como se cuenta. Es decir, el relato histórico no es sólo una ilustración. Es una acción política (ALLCHIN, 2011, p. 72).

Una forma de evitar estos errores fue establecer los contextos científico y metacientífico antes de llegar al trabajo de las y los científicos estudiados. Otra estrategia fue considerar como “personaje principal” el objeto de estudio, por ejemplo: los catálogos estelares, la estrella observada por varios científicos, el método de producción de lentes.

La lectura de las narrativas por colegas con diferentes formaciones (Literatura, Física, Astronomía, Pedagogía) ayudo a ver aquellas partes en las que la narrativa iba por los caminos de la mitificación y/o la incomprensión, así como también los aciertos.

Por último, desde la perspectiva de Ciencia integral y en la formación de una mirada caleidoscópica sobre la Ciencia es fundamental prestar atención a las afirmaciones que afectan la fiabilidad de la Ciencia. Por tanto, la elección del caso de Julio Garavito y su oposición a la relatividad, es justamente una forma de formar esta mirada que implica reconocer el error como constitutivo de la práctica científica y más complejo en sus causas, que lo que usualmente puede mostrarse.

Sin embargo, frente a la tecnología, pareciera que es necesario prestar atención a las relaciones entre su producción-consumo-divulgación y transferencia, es decir, desde una perspectiva de la tecnología integral el foco podría estar en la *interactividad* de tecnología con la Ciencia, la sociedad, la economía y la política. El caso de Fraunhofer muestra que la tecnología hace uso de otra racionalidad, la racionalidad tecnológica y por tanto los criterios para comprender su impacto y variación en el tiempo parecen escapar a los planteados por Allchin para la Ciencia integral.

Por último, la formación de mi propia mirada caleidoscópica sobre la Ciencia y la Tecnología para la formación de formadores y profesores de Ciencias se da inicialmente en una comunidad de investigación (mis orientadores y yo) que también se extiende a otros formadores con los que interactué a lo largo de este proceso de construcción de las narrativas. Una comunidad de investigación y formación extendida. Sin embargo, para que las comunidades de praxis y desarrollo profesional se constituyan, requieren gestores y personas que produzcan el diálogo, convoquen y exijan políticas, espacios, tiempos y procesos de formación al interior de las universidades.

Desde mi participación en el grupo de formadores de profesores de Ciencias hasta la construcción de las narrativas y su socialización, mi papel también fue el de provocar este diálogo, por lo cual reflexiono sobre la importancia de incluir en la formación espacios para que el diálogo tenga lugar. Pero también para gestionar y ser vector de praxis. Esto implicaría una serie de habilidades, conocimientos y saberes que se despliegan en la búsqueda de conformar equipos y que implican pensar en políticas educativas que amplíen el tripe universitario y afecten la forma en que pensamos la investigación educativa.

6.5 Dispositivo para evaluar las narrativas del caleidoscopio didáctico para la enseñanza de la óptica en la formación inicial de profesores de Física

Una de las posibles interacciones en la comunidad de praxis y desarrollo profesional de formadores de profesores de Ciencias puede ser la evaluación y transformación de narrativas y episodios históricos. En ese sentido, a continuación, se presenta un instrumento de evaluación que recoge algunas de las dificultades presentadas anteriormente en el desarrollo de las narrativas históricas que componen el caleidoscopio didáctico y que podrían traer insumos para pensar procesos de evaluación de recursos históricos para la formación de formadores de profesores de Ciencias.

El caleidoscopio didáctico objetiva ser un dispositivo didáctico sobre el que podamos desarrollar la praxis, que implica planear, desarrollar, evaluar y reflexionar. Además, al compactar los estudios de caso y sus desarrollos didácticos para producir imágenes de las Ciencias que se complementan, también se espera que sea posible compartirlo con otras y otros colegas para establecer diálogos que nos lleven a prácticas sincrónicas y asincrónicas en las que aportamos en el desarrollo de una mirada caleidoscópica de la Ciencia y la tecnología para la formación de profesores.

Allchin (2013) menciona una herramienta mnemotécnica para reconocer los problemas asociados a las narrativas y sus posibles soluciones que se presenta a continuación y se adapta para la evaluación de narrativas.

Cuadro 22 – Problemas y posibles soluciones para trabajar con narrativas

FUENTE DEL PROBLEMA: Narrativa mítica	FUENTE DE LA SOLUCIÓN: Auténtica Historia para la NdeC
Ciencia hecha	Ciencia en proceso
Genio sobreinflado	Oportunidades
Universalidad no calificada	Incertidumbres
Retrospectiva, romanticismo	Respeto del contexto histórico
Caricaturas	Contingencia, complejidad y controversia
Resultados esperados y excusas	Error explicado

Fuente: Elaboración propia.

Estos aspectos son tenidos en cuenta principalmente en el contexto metacientífico y científico, aunque Moura (2012) advierte que estos contextos no deben verse de manera separada.

A continuación, presentamos un instrumento para guiar la selección y evaluación de narrativas históricas

Cuadro 23 – Instrumento para la selección y evaluación de narrativas históricas

CONTEXTO	PREGUNTAS		OBSERVACIONES
Científico y Metacientífico	¿La narrativa genera una imagen de Ciencia hecha y lista?	¿La narrativa genera una imagen de Ciencia en proceso?	
	¿La narrativa presenta a la persona que hace Ciencia como un genio sobreinflado?	¿La narrativa evidencia las oportunidades que tuvo la persona que hace Ciencia en ese caso?	
	¿La narrativa presenta el producto del trabajo científico como aceptado universalmente sin ser evaluado y puesto a prueba por una comunidad?	¿La narrativa presenta las incertidumbres que acompañan la aceptación de los productos del trabajo científico?	

CONTEXTO	PREGUNTAS		OBSERVACIONES
	¿La narrativa romantiza el pasado y muestra una retrospectiva aproblemática?	¿La narrativa presenta un contexto histórico en el que se desarrolla el episodio histórico sin sobre o infravalorarlo?	
CONTEXTO	PREGUNTAS		OBSERVACIONES
	¿La narrativa caricaturiza a las personas que hacen Ciencia a través de la exaltación de cualidades?	¿La narrativa contempla la complejidad, contingencia y controversias que usualmente están presentes en la actividad científica?	
	¿La narrativa genera una idea de que los resultados son siempre los esperados y excusa los errores cometidos sin analizarlos?	¿La narrativa presenta los errores cometidos y los explica, también deja espacio para resultados inesperados o que no son posibles de entender en ese momento?	
Pedagógico-Didáctico	¿La narrativa se muestra como una colección de hechos que se suceden a modo de información?	¿La narrativa contiene preguntas o problemas provocadores de la NdeC?	
	¿La narrativa no permite conocer ideas preconcebidas de los estudiantes y presenta eventos que no generan contrastes?	¿La narrativa permite conocer ideas preconcebidas y comunes de los estudiantes, así como confrontarlas con eventos discrepantes?	
	¿La narrativa solo es posible desarrollarla con un determinado grupo de personas según sea experto/sin conocimientos en el tema?	¿La narrativa puede adaptarse al nivel de desarrollo de un determinado grupo de estudiantes (según sea necesario)?	
Usabilidad	¿Como usaría usted esta narrativa en su práctica docente?		
Adaptación	¿Qué adaptaciones usted le haría a esta narrativa para usarla?		

Fuente: Elaboración propia.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Esta tesis es producto de inquietaciones generadas en la participación de un proceso de creación de un programa de formación inicial de profesores de Física en Colombia. Si bien, su contexto de origen es este, las reflexiones y propuesta contenidas en ella pueden extenderse y adaptarse al contexto latinoamericano e internacional.

El objetivo propuesto fue constituir una propuesta para la formación de formadores de profesores de Ciencias que considerara tanto los discursos de los formadores como las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la Óptica. Retomando las preguntas de investigación: ¿Quiénes son los formadores de profesores de Ciencias? ¿Qué discursos son movilizados por los formadores de profesores sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores de Física? ¿Cuáles son las contribuciones de la Historia, filosofía y Sociología de la Ciencia para los formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial? ¿Cómo estructurar una propuesta para la formación de formadores de profesores de Física que tenga en cuenta las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la óptica? Presentamos los aportes de esta investigación, así como algunas limitaciones y sugerencias de investigaciones futuras.

El cuestionamiento sobre quiénes son las personas encargadas de formar profesores de ciencias, nos llevó a esbozar algunas características y potencialidades que podrían considerarse tanto en programas de formación continua como posgradual. Particularmente en Latinoamérica, encontramos formadores con diversas formaciones académicas en áreas relacionadas con la enseñanza de las Ciencias: Filosofía de las Ciencias, Ciencias Naturales, Didáctica de las Ciencias, entre otras. Su práctica profesional esta asociada a asignaturas que se clasifican en componentes denominados Científico, Didáctico, Pedagógico y de Práctica profesional en programas de formación de Licenciaturas en Física, Química, Biología, Ciencias, entre otras. Los espacios académicos clasificados en los componentes Didáctico y Pedagógicos han sido, en mayor medida, problematizados desde la investigación desarrollada por los formadores de profesores de Ciencias. Un aspecto relevante es la investigación que sitúa formadores en la escuela, problematizando la relación Escuela-Universidad desde una racionalidad técnica y proponiendo avanzar en una racionalidad práctica y crítica, donde se reconoce la necesidad de construir comunidades de practica en las que los futuros profesores de Ciencias participen y que están integradas por formadores que actúan en diversos espacios educativos.

Con respecto a la definición de formadores, aun encontramos una amplitud de conceptualizaciones que procuran incluir la diversidad de formaciones, prácticas y características de estos. Esto nos lleva a problematizar ¿Cuál es la naturaleza de un formador de profesores de Ciencias?⁶⁰ (ADÚRIZ-BRAVO, 2023)

La última contribución teórica está asociada a la formación epistemológica de los formadores de Ciencias que pareciera beneficiarse de procesos de co-formación en comunidades de práctica y desarrollo profesional. En las investigaciones sistematizadas, el grupo de discusión y las reflexiones de la formadora novel se hizo evidente un agente que ha sido poco estudiado: el generador de los diálogos entre las y los formadores y de las comunidades de práctica. Así, si bien todas y todos los formadores tenemos el potencial para generar estos espacios de desarrollo profesional, sería importante considerar y estudiar las estrategias, conocimientos y habilidades que despliega un formador que objetiva la constitución de una comunidad de práctica y desarrollo profesional para avanzar en propuestas que puedan articular, en el nivel de posgraduación, este tipo de conocimientos. Esto es, la participación y constitución de una comunidad de práctica y desarrollo profesional está lejos de ser algo ambiental y espontáneo, al contrario, requiere ser planeado y desplegar una serie de estrategias, habilidades y conocimientos para que las y los formadores que participan en ellas puedan incorporarse en ella y permear su práctica.

Frente al cuestionamiento: ¿Cuáles son las contribuciones de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia para los formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial? Se propone en esta investigación el desarrollo y formación de una mirada caleidoscópica sobre la Ciencia y la Tecnología para su enseñanza, que se nutre de los aportes de la Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia y se caracteriza por ser dinámica, crítica, contextual y conectada a la praxis de las y los formadores de profesores de Ciencias. Así, los aportes de la HFSC en la formación de formadores se concretan en la reflexión metateórica y material a través del caleidoscopio didáctico, un artefacto didáctico para desarrollar procesos de formación y praxis de formadores y profesores de Ciencias en donde se explicitan cuestiones de la HFSC para ser llevadas al aula de clase. Así, el caleidoscopio puede contribuir en los procesos de planeación, desarrollo y evaluación de la enseñanza de las

⁶⁰ Este cuestionamiento fue expresado por el profesor Agustín Aduríz-Bravo en la banca de defensa de la tesis el día 24 de febrero del 2023.

Ciencias, pues se compone de narrativas de episodios históricos que son construidas y /o seleccionadas en el proceso de recontextualización de saberes. Este artefacto didáctico contempla las dimensiones de la Ciencia integral y los contextos científico, metacientífico y pedagógico.

Con respecto al cuestionamiento: ¿Qué discursos son movilizados por los formadores de profesores sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial de profesores de Física?, resaltamos el papel del Análisis del discurso como marco analítico para comprender los discursos que movilizamos en el aula de clase de formación inicial de profesores y que nos permitió interpretar algunas formaciones imaginarias que se concretan en decisiones curriculares, así como nuevos cuestionamientos asociados a la identidad del formador de profesores de Ciencias y la influencia de su formación en las prácticas y concepciones que moviliza sobre la formación inicial docente. Así mismo, en el acercamiento a los textos de primera fuente y la construcción de las narrativas con fines didácticos tuvo un papel fundamental para estar alerta sobre los posibles sesgos y errores en los que podríamos incurrir y realizar una reflexión sobre la propia mirada caleidoscópica que se estaba configurando en el proceso de desarrollo y análisis. En ese sentido, consideramos la necesidad de incorporar algunos elementos del Análisis del Discurso para la recontextualización de saberes y la construcción de nuevos discursos para la formación de formadores de profesores de Ciencias.

Analizar los discursos de los formadores de profesores de Ciencias permitió reconocer la necesidad de que en la formación posgradual se articulen las cuestiones teóricas con las reflexiones sobre la práctica en la formación de los formadores. Las posturas epistemológicas de los futuros formadores requieren nuevos elementos para ampliarse, mutar y estar en concordancia con las posturas Didácticas y la praxis del formador de profesores de Ciencias. En este sentido, esta formación epistemológica no puede ser ambiental y/o reducirse a una disciplina o seminario. A lo largo de del proceso de formación como formadores de profesores, los cuestionamientos sobre la propia epistemología y sus efectos en la praxis deben ser recurrentes y podrían aportar en la consolidación de una identidad profesional.

Uno de los posibles problemas que subyace a la formación epistemológica del formador puede ser en considerar la HFSC solo como una línea de investigación en la que algunos se inscriben y se vuelven “especialistas”. La propuesta de esta investigación es considerarla una dimensión necesaria dentro de la formación de los formadores para tejer sentidos sobre la práctica.

Por último, al abordar la pregunta ¿Cómo estructurar una propuesta para la formación de formadores de profesores de Física que tenga en cuenta las contribuciones de la HFSC para la enseñanza de la óptica? Resaltamos en primer lugar, el desarrollo de tres narrativas de tres estudios históricos sobre la óptica con implicaciones en la Astronomía y que muestran casos poco trabajados en la Enseñanza de las Ciencias. Estas narrativas tienen el potencial de ser llevados al aula y ajustarse a diferentes niveles educativos, así como ampliar las consideraciones didácticas, que para este caso se propusieron para disciplinas de postgrado en enseñanza de las Ciencias (maestría y/o doctorado). Estas narrativas componen el caleidoscopio didáctico y con ellas avanzamos en el proceso de construcción de una mirada caleidoscópica que problematiza la óptica desde las dimensiones observacional, sociocultural y conceptual de la ciencia (ALLCHIN, 2013).

Asociado a la construcción de una mirada caleidoscópica de la ciencia y la tecnología para la enseñanza, se propone un instrumento de evaluación de narrativas que se articula a la propuesta del caleidoscopio didáctico. Este instrumento se construyó sobre los presupuestos de la Ciencia integral y recoge algunos de los principales problemas que se presentan cuando tenemos que seleccionar una narrativa para llevar al aula de clase. Estas dificultades y estrategias se narran en la reflexión sobre la experiencia de la construcción de las narrativas que hace parte del proceso de recontextualización de saberes. La búsqueda de fuentes históricas fiables, las habilidades necesarias para cambiar de un texto argumentativo a uno narrativo, la delimitación de los puntos didácticos son solo algunas de estas que las y los formadores podríamos tener en cuenta a la hora de trabajar con narrativas históricas.

7.1 Límites y posibles continuidades de la investigación

Un aspecto importante a la hora de reconocer los aportes de la investigación es explicitar los límites. En ese sentido, esta investigación se inscribe en una perspectiva cualitativa-interpretativa y cada uno de los objetivos con el correspondiente diseño metodológico presentan límites y alcances.

Uno de esos alcances estaba en la formulación de una propuesta para la formación de profesores. Por lo cual reconocemos como limite la falta de puesta en escena en un aula de formación con futuros formadores, del caleidoscopio didáctico y su consecuente validación a través de un grupo de formadores de profesores de Ciencias.

Esta falta de puesta en la práctica con otros formadores es una limitación para reconocer el alcance y las restricciones del caleidoscopio didáctico en la praxis de los formadores y en la

funcionalidad en el seno de una comunidad de praxis y desarrollo profesional. Uno de los propósitos es desarrollar este caleidoscopio de manera conjunta, en este trabajo se presenta un prototipo que se espera pueda ser retroalimentado en posteriores trabajos.

Por otro lado, al desarrollar la revisión sistematizada, evidenciamos que algunas investigaciones, particularmente en Brasil, declaran el género de los participantes. Sin embargo, al ser un elemento emergente y no estar presente en todas las comunicaciones, no fue posible establecer una relación entre las investigaciones analizadas y el género de los formadores. Sin embargo, este cuestionamiento queda latente, pues al establecer el grupo de discusión evidenciamos la dificultad para convocar formadoras que tuvieran una posición como docentes universitarias en propiedad. Así, los participantes del grupo de discusión, todos se identificaban como hombres, no indígenas, no afrocolombianos y ninguno mencionó ser parte de la comunidad LGBTIQ+ o tener alguna diversidad funcional. Esta homogeneidad en los participantes del grupo puede ser vista como un límite de la investigación, toda vez que no recoge las diversas experiencias que en el desarrollo profesional pueda tener una persona atravesado por múltiples exclusiones. La praxis y los discursos que producen las y los formadores sobre la formación inicial y continua de profesores depende en gran parte de sus experiencias asociadas a dilemas, tensiones y anhelos, lo que impacta en las políticas educativas y curriculares de los programas y la posibilidad de desarrollar propuestas como la participación de comunidades de formación y desarrollo profesional.

En ese sentido, algunos estudios muestran la influencia del “techo de cristal en las Universidades Latinoamericanas (GUIL BOZAL, 2008; MATUS-LÓPEZ; GALLEGOMORÓN, 2015; NUÑO GÓMEZ; ÁLVAREZ CONDE, 2017), que se refleja en la falta de ocupación de cargos académicos-administrativos por parte de mujeres y que se extiende a otros grupos históricamente excluidos. Por ejemplo, el informe sobre cifras de empleo y brechas de género, publicado en octubre 2020, DANE, CPEM y ONU Mujeres (2020) muestra que el 49% del tiempo de trabajo de las mujeres en Colombia es no remunerado y que la brecha salarial entre hombres y mujeres con estudios de posgrado es alrededor del 23,3%. Así mismo, el informe de la UNESCO - IESALC (2021) muestra que, en el 2018, las mujeres representaban el 43 % de los profesores en la educación superior, en comparación con el 66 % y el 54 % en la educación primaria y secundaria, respectivamente y que, en todo el mundo, solo el 30 % de los investigadores en las universidades son mujeres (UNESCO, 2019). Sumado a esto, el impacto de la pandemia COVID-19 se evidencia en el retroceso en cifras de las publicaciones de mujeres entre 2018 y 2020. Para febrero y mayo de 2020, estas correspondían al 45% de las

publicaciones de los hombres. Sin embargo, también consideramos que esta sea una oportunidad para futuras pesquisas en la formación de formadores de profesores de Ciencias.

Otro límite está relacionado con el marco analítico del Análisis del Discurso en la vertiente de Eni Orlandi y los trabajos de Almeida y Nardi en el campo de la Educación en Ciencias. Reconociendo que tanto los investigadores como los participantes de la investigación construyen formaciones imaginarias y en sus interacciones se dan unas condiciones de producción específicas, esto determina las interpretaciones realizadas sobre los discursos de los formadores participantes del grupo de discusión. En ese sentido, la elección tanto del referencial analítico como la constitución del corpus analizado determinan un límite y alcances de la propia investigación.

Por último, consideramos que es posible avanzar en propuestas de investigación que se enfoquen en experiencias compartidas de planeación y evaluación con recursos de HFSC en el nivel de posgraduación y que exploren la naturaleza de la tecnología en la formación de formadores de profesores de Ciencias, pues como se mencionó en el capítulo 2, esta es una dimensión usualmente olvidada y que tiene diferencias con respecto a la naturaleza de la tecnología. Por tanto, consideramos que una formación tecnológica para la toma de decisiones y la justicia social implica comprender la práctica tecnológica y alejarnos del determinismo tecnológico.

REFERENCIAS

- ABELL, S. K.; ROGERS, M. A. P.; HANUSCIN, D. L.; LEE, M. H.; GAGNON, M. J. Preparing the next generation of science teacher educators: A model for developing PCK for teaching science teachers. **Journal of Science Teacher Education**, v. 20, n. 1, p. 77-93, 2009. DOI: 10.1007/s10972-008-9115-6.
- ABIB, M. L. V. S. Trabalhos colaborativos na formação inicial e continuada de professores para o ensino de Ciências. 2009. **Enseñanza de las Ciencias**, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias [...]. [S. l.: s. n.], 2009. p. 3079–3081.
- ACEVEDO, J. La tecnología: una noción poliédrica. **Revista de Estudios Sociales**, [S.l.], n. 23, p. 15-24, 2006. ISSN 0123-885X. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.7440/res23.2006.02>. Acceso en: 26 jun. 2022.
- ACEVEDO DÍAZ, J. A. ¿Qué puede aportar la historia de la tecnología a la educación CTS? **Praxis Pedagógica**, v. 10, n. 11, p. 32-39, 2010. DOI 10.26620/uniminuto.praxis.10.11.2010.32-39.
- ACEVEDO DÍAZ, J.A.; GARCÍA-CARMONA, A.; ARAGÓN, J. M. **A formação de professores de ciências: tendências atuais e perspectivas futuras**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2017.
- ACEVEDO-DIAZ, J. A.; GARCIA-CARMONA, A.; ARAGON, M. M. Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. **Educ. quím**, Ciudad de México, v. 28, n. 3, p. 140-146, 2017. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2017000300140&lng=es&nrm=iso. Acceso en: 04 mayo 2023. DOI 10.1016/j.eq.2016.12.003.
- ACEVEDO TARAZONA, Á. Educación, reformas y movimientos universitarios en Colombia: apuestas y frustraciones por un proyecto modernizador en el siglo XX. **Revista de Estudios Sociales**, n. 53, p. 102–111, 1 jul. 2015.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. **¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias?** Una cuestión actual de la investigación didáctica. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, p. 23–33, 2005.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. **Historia de la Ciencia en el aula**. Madrid: Pearson, 2009.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. Desafíos de la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias. **Obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la filosofía y de la ciencia**. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Psicología, 2017. p. 51–67.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. Didáctica de la filosofía de la ciencia para profesores de ciencias en formación. **Tecné Episteme Y Didaxis TED**, v. Extraordin, p. 1–6, 2018. Disponible en: <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/9196>. Acceso en: 05 feb. 2023

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias**. 2001.

ADÚRIZ-BRAVO, A. Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. **Interchange**, v. 45, n. 3-4, p. 167-184, 2014. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10780-015-9229-7>. Acceso en: 23 abr. 2023. DOI 10.1007/s10780-015-9229-7..

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 465-476, 2002.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; PUJALTE, A. P. Social Images of Science and of Scientists, and the Imperative of Science Education for All. **Science: Philosophy, History and Education**, p. 201–224, 2020. DOI 10.1007/978-3-030-47260-3_11.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; REVEL CHION, A. El pensamiento narrativo en la enseñanza de las ciencias. **Revista Inter Ação**, v. 41, n. 3, p. 691, 2016. DOI 10.5216/ia.v41i3.41940.

AGUIAR, M. A. S. **Diálogo em roda**: a formação de professores em questão. Editora Livraria da Física, 2009.

AGUIAR, F. S.; GURIDI, V. M. Uma visão geral sobre as metodologias de ensino aplicadas na formação de professores de Ciências em um curso de graduação da USP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2015. p. 1–9.

ALLCHIN, D. **Teaching the Nature of Science**: perspectives and resources. St. Paul, MN: SHiPS Education Press. 2013.

ALLCHIN, D. The Role of Historical Case Studies in Contemporary Science Education. **Science & Education**, v. 22, n. 9, 2013, p. 2229-2262.

ALLCHIN, D. A. Integral science: Reconciling mind and matter. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 651-663, 2011. DOI: 10.1007/s11191-011-9352-3.

ALMEIDA, M. J. P. M. A luz: enfoque no ensino médio e representações de estudantes. **Pro-Posições**, v. 7, n. 1, p. 34–40, 1996.

ALMEIDA, M. J. P. M. Análise de discurso. In: SPINK, M. J. (Org.). **Práticas discursivas e produção de sentidos no cotidiano**: aproximações teóricas e metodológicas. São Paulo: Cortez, 2007. p. 121-142.

ALMEIDA, M. J. P. M. Discurso pedagógico e formação de professores das ciências da natureza: foco no professor de física. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 29–41, 2012.

ALMEIDA, M. J. P. M.; NARDI, Roberto. Relações entre pesquisa em ensino de Ciências e formação de professores: Algumas representações. **Educacao e Pesquisa**, vol. 39, no. 2, p. 335–349, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022013000200004>.

ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, A. C. Leitura de textos de cientistas por um licenciando: uma possibilidade de acesso a discursos que contrastam com o das pós-verdades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1659-1683, 2020. DOI 10.5007/2175-7941.2020v37n3p1659. DOI 10.1016/j.matdes.2017.02.024.

ALMEIDA, M. J. P. M.; SORPRESO, T. P. Dispositivo analítico para compreensão da leitura de diferentes tipos textuais: exemplos referentes à Física. **Pro-Posições**, v. 22, n. 1, p. 83–95, 2011. DOI: 10.1590/s0103-73072011000100008.

ALTARUGIO, M. H.; VILLANI, A. A experiência de uma formadora num curso de educação continuada de professores de Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1–11.

ALTARUGIO, M. H.; VILLANI, A. O papel do formador no processo reflexivo de professores de ciências. 15., 2010. **Investigações em Ensino de Ciências [...]**. [S. l.: s. n.], 2010. v. 15, p. 385–401.

ALVARADO-GUZMÁN, L. L.; NARDI, R. Discursos de los formadores de profesores de Física sobre la enseñanza de la Óptica en la formación inicial. 2021. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED - Memorias del IX Congreso Internacional sobre formación de profesores de Ciencias [...]**. Bogotá, Colombia: [s. n.], 2021. p. 1782–1788.

ALVARADO-GUZMÁN, L. L.; **El papel de la experimentación en los discursos sobre la refracción de la luz: elementos para la formación de profesores de ciencias naturales**. Orientador: Edwin García. 2017. 222 f. Universidad del Valle, 2017.

AMADOR-RODRÍGUEZ, R.; ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria en América Latina? **Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 39, n. 3, p. 11–31, 2021. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.3272.

AMADOR-RODRÍGUEZ, R. Y.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Concepciones emergentes de naturaleza de la ciencia (NOS) para la didáctica de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas**. Sevilla, España: [s. n.], 2017. p. 3499–3504.

AMADOR-RODRÍGUEZ, R. Y.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Consensus and Dissent Around the Concept of Nature of Science in the Ibero-American Community of Didactics of Science. **Science: Philosophy, History and Education**, p. 31-47, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-74036-2_3.

ANACONA, M. **Historia de la matemática - nº 1**. v. 8, p. 30–46, 2003. Available at: http://funes.uniandes.edu.co/1516/1/94_Anacona2003La_RevEMA.pdf.

ANGUITA MARTÍNEZ, R. El reto de la formación del profesorado para la igualdad. **Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado**, v. 14, n. 1, p. 43–51, 2011. Available at: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3678757&info=resumen&idioma=ENG>.

Acceso en: 21 feb. 2023.

ARAUJO, B. S.; SILVA, J. R. N. Construção conjunta de práticas como componente curricular por docentes formadores de professores de Química: um análise a partir da teoria do agir comunicativo. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 23, p. 1-21, 2021.

ARAGÓN, L.; GIL, M.; ORTEGA, E.; PUIGVERT, L.; VALLS, R. La formación del profesorado para una educación en valores. **Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado**, [S.l.], n. 7, p. 1-9, 2004. Disponible en: <https://revistas.um.es/reifop/article/view/34331>. Aceso en: 21 feb. 2023.

ARREDONDO LÓPEZ, M. Formadores de profesores: la búsqueda de un perfil deseable en la formación. **Revista electrónica de investigación educativa**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2007.

ATWATER, M.M.; BUTLER, M.B.; FREEMAN, T.B.; CARLTON PARSONS, E.R. An Examination of Black Science Teacher Educators' Experiences with Multicultural Education, Equity, and Social Justice. **Journal of Science Teacher Education**, vol. 24, no. 8, p. 1293–1313, 2013. DOI: 10.1007/s10972-013-9358-8.

AVILA, A. Enfoque sociocultural y algunas aproximaciones en la enseñanza de las ciencias. **Proyectos investigativos en educación en Ciencias: Articulaciones desde enfoques históricos-epistemológicos, ambientales y socioculturales**, v. 20, n. February, p. 125-147, 2017.

AYALA, M. M. **La enseñanza de la física para la formación de profesores de física**. Universidad Pedagógica Nacional, 1992.

AYALA, M. M.; GARZÓN, M.; MALAGÓN, F. CONSIDERACIONES SOBRE LA FORMALIZACIÓN Y MATEMATIZACIÓN DE LOS FENOMENOS FÍSICOS. **Praxis Filosófica**, n. 25, p. 39–54, 2007.

AYALA, P. Formación de profesores de ciencias. In: COLL, C. *et al.* (Orgs.). **Los contenidos en la reforma**, Paidós. 1997. pp. 233-248.

AZAM, Saiqa; GOODNOUGH, Karen. Learning together about culturally relevant science teacher education: Indigenizing a science methods course. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, v. 26, n. 2, p. 74-88, 2018.

BAMBIRRA, J. L.; SALGADO, L. B. Á; SILVA, P. R. S; CASTELOBRANCO, A. L; PEREIRA, A; BONTEMPO, G. C. Os docentes formadores que atuam nos cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Viçosa-Perfil e formação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-8.

BAPTISTA, Leandro Vasconcelos; MIRANDA, Monike Hyasmin Gomes; PARANHOS, Rones de Deus; MOREIRA, Simone Sendim Guimarães. Formação de formadores : a trajetória dos professores de um curso de ciências biológicas. 2013. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-8.

BARAK, M. Science Teacher Education in the Twenty-First Century: a Pedagogical Framework for Technology-Integrated Social Constructivism. **Research in Science Education**, v. 47, n. 2, p. 283-303, 2017. DOI: 10.1007/s11165-015-9501-y.

BARBERO, S.; VALLMITJANA, S.; CARRERAS, C. Presentación: ¿Qué es la luz? **Arbor**, v. 191, n. 775, 2015.

BARBOZA RAMOS, E. S. O que nos revelam os discursos de professores formadores sobre afetividade e cognição no ensino de Ciências e Matemática nos anos iniciais do Ensino Fundamental. 2021. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 13., Virtual, 2021. **Atas [...]**. Virtual: [s. n.], 2021. p. 1–8.

BARNETT, J.; HODSON, D. Pedagogical content knowledge and the nature of science: implications for the training of science teachers. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 6, 721-734. 2001.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 83–94, 1998.

BARROS VIDOR, C.; DANIELSSON, A.; REZENDE, F.; OSTERMANN, F. Quais são as representações de problemas e os pressupostos sobre gênero subjacentes à pesquisa em gênero na Física e no ensino de Física? Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1095-1132, 2020. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2020u10951132.

BAZANA, E. S. N.; ARAÚJO, M. C. P.; DEL PINO, C. J. O formador no curso de licenciatura em Química do Instituto Federal Farroupilha-campus Panambi : uma reflexão sobre suas concepções acerca da formação docente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. BELÉNDEZ, A; PASCUAL, I; ROSADO, L. La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. **Ensenanza de las Ciencias**, v. 7, n. 3, p. 271-275, 1989.

BEDENLIER, S.; ZAWACKI-RICHTER, O. Opportunities and challenges of OER for collaborative learning. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 1, n. 1, p. 1-18. 2020.

BELTRÁN, L., CERQUERA, J. **Historia de la educación superior en Colombia**. Bogotá: Universidad de La Sabana, 2013.

BELTRÁN, R.; CUÉLLAR, D. **La formación de maestros en Colombia: historia, coyuntura y perspectivas**. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2013.

BENITE, C. R. M.; VILELA-RIBEIRO, E. B.; BENITE, A. M. Sobre identidades culturais na formação de professores de química: em foco a educação inclusiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011.

BERNARDES, T. O.; BARBOSA, R. R.; IACHEL, G.; NETO, A. B.; PINHEIRO, M. A. L.; SCALVI, M. F. Abordando o ensino de óptica através da construção de telescópios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 391-396, 2006.

BERRY, A.; VAN DRIEL, J. H. Teaching About Teaching Science: Aims, Strategies, and Backgrounds of Science Teacher Educators. **Journal of Teacher Education**, v. 64, n. 2, p. 117-128, 2013. DOI: 10.1177/0022487112466266.

BLAZQUEZ GRAF, N.; CHAPA ROMERO, A. C. **Inclusión del análisis de género en la ciencia**. electrónic. Ciudad de México: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, 2018.

BONIECK, W. A. Ensino de química e história da ciência: o que os professores pesquisam? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 497-525, 2016.

BOOI, K.; KHUZWAYO, Z. Philosophical beliefs and science teacher education curriculum in South Africa: A comparative study. **Journal of Education and Practice**, v. 10, n. 7, p. 38-46. 2019.

BOZELLI, F. C.; NARDI, R. O uso de analogias e metáforas em aulas de física no ensino superior: algumas considerações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

BRASIL, L. L. Michel Pêcheux e a teoria da análise de discurso: desdobramentos importantes para a compreensão de uma tipologia discursiva. **Linguagem: Estudos e Pesquisas**, v. 15, n. 1, p. 171-182, 2013. DOI: 10.5216/lep.v15i1.25149.

BRAVO, B.; PESA, M.; POZO, J. Aprendiendo a explicar el fenómeno de la visión: efectos de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 5, n. 2, p. 38, 2011.

BRAVO, BM; PESA, M. A. Concepções de alunos (14–15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color Students. **Investigações em Ensino de...**, v. 10, n. 3, p. 337–362, 2005. Disponible en: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/Ciencias/Artigos/bravopesa.pdf. Acceso en: 15 feb. 2022.

BRAVO, S.; PESA, M. El fenómeno de la difracción en la Historia de la óptica y en los libros de texto. Reflexiones sobre sus dificultades de aprendizaje. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, p. 76, 2016. DOI: 10.22600/1518-8795.ienci2016v20n2p76.

BURKE, L. E.C. A. Foregrounding Intersectionality in Considerations of Diversity: Confronting Discrimination in Science Teacher Education. **Research in Science Education**, 2021. DOI: 10.1007/s11165-021-10001-1.

CAJIAO, F. La educación en la Asamblea Nacional Constituyente de 1991. In: MEN (Colombia). La educación en la Constitución de Colombia de 1991. Bogotá: Editorial Magisterio, 2004. p. 35-51.

CALIXTO, V. S.; KIOURANIS, N. M. M. Prática como Componente Curricular : as lentes que constituem os óculos dos formadores de professores de Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., Florianópolis, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2017. p. 1-10.

CALVO, J. A.; LARA, M. A.; GARCÍA, R. A. El papel de las Escuelas Normales en la formación de docentes en Colombia. *In: Ministerio de Educación Nacional. La formación de docentes en Colombia. Balance y perspectivas.* Imprenta Nacional de Colombia. 2004.

CAMACHO-GONZÁLEZ, J. Género y educación en ciencias: una revisión de las perspectivas actuales. **Revista mexicana de investigación educativa**, v. 25, n. 84, 2020, p. 393-416.

CAMARGO, E. D. **Ensino de óptica para alunos cegos: possibilidades.** Curitiba: Editora CRV. 2011.

CAMARGO, É. P. Dificuldades e alternativas encontradas por licenciandos para o planejamento de atividades de ensino de óptica para alunos com deficiência visual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 115-126, 2007.

CAMARGO, S.; NARDI, R. Os discursos de licenciandos, professores universitários e secundários contribuindo para a reestruturação curricular de um curso de Licenciatura em Física. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 3270-3272, 2009. Disponible ne: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/294646>. Acceso en: 15 mayo 2023.

CAMPOS, S. R. P.; CAMPOS, L. M. L. O Texto Alternativo e a Formação Inicial de Professores de Ciências : A Compreensão dos Docentes formadores. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS*, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

CAMPOS, R. S. P.; CAMPOS, L. M. L. Princípios e intenções pedagógicas de professores formadores que atuam na área de Ciências Naturais no curso de Pedagogia. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2015. p. 1-8.

CANALES, M.; PEINADO, J. La técnica de grupo de discusión. *In: GARCÍA FERRANDO, M. et al. (Eds.). Métodos y técnicas cualitativas de investigación en ciencias sociales.* Madrid: Síntesis, 1999. p. 289.

CARVALHO, G. S. Science education and culture: some considerations for multicultural contexts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 4, p. 558-583, 2016.

CASAS, A. La luz del origen del Universo. **ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura**, v. 191, n. 775, p. A267, 2015.

CASTIBLANCO, O; NARDI, R. Un uso de la historia en la enseñanza de la didáctica de la física. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 50-60, 2013.

CATELLI, F.; GIOVANNINI, O.; OLIVEIRA, S. F. Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 951-970, 2017. DOI 10.5007/2175-7941.2017v34n3p951.

CELESTINO, S. M. O.; MOURA, M. O. História da Ciência e Ensino: uma proposta metodológica para o ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 2, p. 233-246, 2008.

CERQUERA, A. Teoría y práctica de la ciencia en la obra de Christiaan Huygens. **Revista de Historia de la Ciencia y la Tecnología**, v. 3, n. 1, p. 87-105, 2006.

CHALMERS, A. F. **¿Qué es esa cosa llamada ciencia?** 3. ed. Madrid: Siglo Veintiuno Editores S/A, 2000.

CHETCUTI, D. El profesorado como sujeto político y epistemológico. **Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación**, n. 6, p. 51-70, 2009.

COAN, G. P.; PEDROSA MAESTRELLI, M. A. Formação de professores em licenciaturas em educação do campo: análise de teses e dissertações sobre o formador de professores. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 2, p. 294-314, 2019.

CODINA, L. Systematic reviews and meta-analysis: extensive research or literary genres? **Profesional de la Información**, v. 27, n. 2, p. 213-220, 2018.

COELHO, D. M. R.; ALMEIDA, M. J. P. M. A perspectiva de Análise de Discurso Crítica no estudo da argumentação em livros didáticos de Biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 3, p. 533-554, 2017.

COLIN, P; VIENNOT, L. Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching. **American Journal of Physics**, v. 69, n. S1, p. S36-S44, 2001. DOI: 10.1119/1.1371256.

COLOMBIA. Ministerio de Educación Nacional. **Resolución 18583/2017, del 27 de septiembre de 2017**. Por la cual se ajustan las características específicas de calidad de los programas de Licenciatura para la obtención, renovación o modificación del registro calificado, y se deroga la Resolución 2041 de 2016.

CORREIA, N. Caleidoscopio: Transformación de la realidad. **Cuadernos de Turismo**, v. 38, p. 1-12, 2016.

CORTELA, B. S. C.; NARDI, R. Reformas curriculares na Licenciatura em Física: As intencões legais e o discurso dos formadores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

CORTELA, B. S. C.; NARDI, R. A formação em serviço de docentes universitários: Reflexões sobre um modelo formativo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-9.

COSSETIN, S. R. O ensino, a pesquisa e a extensão na constituição da docência no ensino superior. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. Año 2018. Numero Extraordinario. Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. [...]. [S. l.: s. n.], 2018. DOI: 10.5752/p.2358-3428.2017v21n43p9.

COSTA, F. R. S.; FREIRE, L. I. F.; LORENCINI JUNIOR, Á. A trajetória dos formadores do campo da educação química no Estado do Paraná. Número Ext., 2021. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. Memorias del IX Congreso Internacional sobre formación de profesores de Ciencias [...]. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1720–1725. DOI: 10.33871/23594381.2020.18.3.86-103.

COUSO, D. El modelo de rayo de la luz desde la práctica científica. **Alambique Didáctica de las ciencias experimentales**, n. 85, p. 15-22, 2016.

DANE; CPEM, Consejería Presidencial para la Equidad de la Mujer; ONU MUJERES. Mujeres y Hombres. Brechas de Género en Colombia. **Mujeres y Hombres. Brechas de Género en Colombia**, , p. 246, 2020. Available at: <https://www2.unwomen.org/-/media/field-office/colombia/documentos/publicaciones/2020/11/mujeres-y-hombres-brechas-de-genero.pdf?la=es&vs=5814>. Acceso en: 15 mayo 2023.

DAPIEVE, D. F. S.; CUNHA, M. B. Professores formadores e a divulgação científica. 2021. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. Memorias del IX Congreso Internacional sobre formación de profesores de Ciencias [...]. Bogotá: [s. n.], 2021. p. 2649–2655.

DAVIS, E. A.; KLOSER, M.; WELLS, A.; WINDSCHITL, M.; CARLSON, J.; MARINO, J.-C. Teaching the practice of leading sense-making discussions in science: science teacher educators using rehearsals. **Journal of Science Teacher Education**, v. 28, n. 3, p. 275–293, 2017. DOI: 10.1080/1046560X.2017.1302729.

DEUS, T. C.; GUIMARÃES, M. L. Avaliação da aprendizagem no Ensino Superior : concepções de professores de um curso de Licenciatura em Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Atas [...]**. Natal, RN: [s. n.], 2019. p. 1-7.

DIAS, V. S. **História e Filosofia da Ciência na pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: manutenção de um mito?** 2008, 115 f., Tese (Doutorado em Educação para a Ciências) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2008.

DÍAZ, F.; MUÑOZ-DÍAZ, E.; SANCHEZ-GUERRERO, M. R. Una aproximación al papel de la tecnología en el aula de ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 21, n. 3, p. 395-406, 2003. Disponible en: <http://ensciencias.uab.es/article/view/268>. Acceso en: 17 feb. 2023.

DOMICIANO, T. D.; LORENZETTI, L. A Educação Ciência, Tecnologia e Sociedade no curso de Licenciatura em ciências da UFPR litoral. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, p. 1–25, 2020. DOI: 10.1590/1983-21172020210105.

DONOHUE, K.; BUCK, G. A.; AKERSON, V. Where's the science? Exploring a new science teacher educator's theoretical and practical understandings of scientific inquiry. **International Journal of Research in Education and Science**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2020. DOI: 10.46328/ijres.v6i1.571.

DONOSO, L.; VELASCO, E. R. La construcción de la conciencia en la universidad. **Revista científica de educación**, n. 22, p. 1-12, 2013.

DREWES, A.; PALMA, H. Crítica al experimento crucial: Michelson y la hipótesis del éter (1887 - 1930). Algunas implicaciones para la enseñanza de la física (15/17 años). **Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias**, v. 3, n. 3, p. 432-451, 2006. DOI: 10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.06.

DRUMOND VIEIRA, R.; NASCIMENTO, S. S. Uma visão integrada dos procedimentos discursivos didáticos de um formador em situações argumentativas de sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 15, p. 443-457, 2009.

DUARTE, M. E.; SILVA, E. C.; ALBUQUERQUE, E. M.; BELTRÃO, K. I. Percepções sobre gênero e ciências em uma escola de ensino fundamental. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 109-129, 2010.

DUTRA MUNIZ, L. B.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. G.; GHISOLFI SILVA, R. M. Saberes docentes mobilizados no estágio supervisionado em Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., Florianópolis, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2017. p. 1-8.

ECHEVERRÍA, J. **La revolución tecnocientífica**. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España, 1995.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. La Evolución de la Física. 1. ed. México: Editorial Porrúa, 1986.

ELEMENTOS CTS NAS AULAS DE PROFESSORES FORMADORES NO ENSINO SUPERIOR. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., Florianópolis, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2017. p. 1-10.

ESTUDOS SOBRE A CONSTRUÇÃO DA DIVERSIDADE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS: DO DISCURSO DE FORMADORES AO CURRÍCULO ESCRITO In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011.

FAN, F. The Global Turn in the History of Science. **East Asian Science, Technology and Society: An International Journal**, v. 6, n. 2, p. 249–258, 2012. DOI 10.1215/18752160-1626191.

FERNANDES, C. S.; MARQUES, C. A. Processos de desenvolvimento profissional dos formadores de professores de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2007. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2007.

FERNANDES, H. L.; DESSOTTI, E. Parceria e Co-formação de Professores. 2016. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED**. Año 2016, Número Extraordinario. Memorias, Séptimo Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 1278–1283.

FERNÁNDEZ, A. La ciencia, ¿es androcéntrica?. In: ZONANA, J. (Org.). **La condición de la mujer en el mundo académico**. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. p. 123-144.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA ALÍS, J.; CACHAPUZ, A. F.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 20, n. 3, p. 477–488, 2002. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.3962.

FERREIRA-GAUCHIA, C.; VILCHES, A.; GIL-PÉREZ, D. Concepciones acerca de la naturaleza de la tecnología y de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la educación tecnológica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 30, n. 2, p. 197–218, 2012.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 657–682, 2012. DOI 10.1007/s11191-011-9419-3.

FRASER, W. J. Science teacher educators' engagement with Pedagogical Content Knowledge and scientific inquiry in predominantly paper-based distance learning programs. **Turkish Online Journal of Distance Education**, v. 18, n. 4, p. 35–51, 2017. DOI: 10.17718/tojde.340375.

FREIRE, L. I. F.; BRAGA, L. A.; LARA, I. C.; PEREIRA, A. L. Formação e atuação de docentes nas disciplinas de prática de ensino em cursos de formação de professores das ciências exatas e naturais. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 10., 2017, Sevilla. **Resumen [...]**. Sevilla, España: [s. n.], 2017. p. 5217–5224.

GAGLIARDI, M.; GIORDANO, E.; RECCHI, M. Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 1, p. 139–146, 2006.

GALILI, I. Chapter 4. Teaching Optics: A Historico- Philosophical Perspective. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 98–128. DOI: 10.1007/978-94-007-7654-8.

GALLEGO BADILLO, R.; GALLEGO TORRES, A. P. Fundamentos y objetivos de la formación de didactas de las ciencias en el contexto suramericano. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1–9.

GANDOLFI, H. E. In defence of non-epistemic aspects of nature of science: insights from an intercultural approach to history of science. **Cultural Studies of Science Education**, v. 14, n. 3, p. 557–567, 21 Sep. 2019. DOI 10.1007/s11422-018-9879-8.

GARCÍA ARTEAGA, E. G.; CERQUERA CUÉLLAR, M. Y. Análisis histórico de la óptica de Huygens: Aportes a la Didáctica de la Física desde enfoques culturales. **La historia de la ciencia en la investigación didáctica**. Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias. [S. l.: s. n.], 2017. p. 143–161.

GARCÍA ARTEAGA, E. G. **Historia de las ciencias en textos para la enseñanza: neumática e hidrostática**. [S. l.: s. n.], 2008. DOI: 10.25100/peu.85.

GARCÍA CARMONA, A.; ACEVEDO, J. **Una controversia de la Historia de la**

Tecnología para aprender sobre Naturaleza de la Tecnología: Tesla vs. Edison - La guerra de las corrientes. v. 1, p. 193–209, 2016.

GARCÍA, E. **Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje.** Aporte histórico y filosófico en la física de campos. p. 1–320, 2011. Available at: <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?fichero=24141>.

GARCÍA, G. G. Reformas en la enseñanza de las matemáticas escolares: perspectivas para su desarrollo. **Revista EMA**, v. 1, n. 3, p. 195–206, 1996.

GARCÍA MARTÍNEZ, Á. La formación de profesores de ciencias a través de su interacción en Comunidades de desarrollo profesional. 2009. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED** No. Extraordinario, 2009. 4º Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias [...]. [S. l.: s. n.], 2009. p. 77–83.

GIULIANO, M.; GIACOSA, N.; CONCARI, S.; GIORGI, S.; MARCHISIO, S.; MEZA, S.; LUCERO, I.; CATALÁN, L. CARACTERIZACIÓN DE DOCENTES A CARGO DE LA FORMACIÓN DOCENTE INICIAL EN FÍSICA EN ARGENTINA. **Revista Mexicana de Investigación Educativa**, v. 17, p. 1233–1266, 2012.

GOMES, C. J.; CALDEIRA, H. As Tic na formação de professores para um maior desenvolvimento de atitudes reflexivas. In: CONGRESO ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 7., 2005. **Actas [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1–4.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. A problematização das atividades experimentais na formação inicial de professores de Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

GONZÁLEZ-CANO, A. **Alhacén:** una revolución óptica ibn al-haytham: an optical. v. 191, 2015.

GONZÁLEZ SILVA, M.; POHL-VALERO, S. La circulación del conocimiento y las redes del poder: en la búsqueda de nuevas perspectivas historiográficas sobre la ciencia. **Memoria y Sociedad**, v. 13, n. 27, p. 7-11, 2009.

GRAF, N. B.; PALACIOS FLORES, F.; EVERARDO, M. R. **Investigación feminista. Epistemología, metodología y representaciones sociales.** [S. l.]: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de investigaciones interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, 2012.

GRANÉS, J. S.; CAICEDO Y. L. M. **Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza.** Análisis de una experiencia pedagógica. Universidad Pedagógica Nacional, n. 34, 1997.

GRAY, J.; LEITH, J. Science in the service of gender equality. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 3, p. 311-327, 2004.

GREENSFELD, J.; ELKAD-LEHMAN, T. Science teacher educators' personal and professional biographies: A narrative inquiry. **Journal of Science Teacher Education**, v. 18, n. 5, 705-725. 2007.

GUERRA, A. Novas perspectivas historiográficas para história de ciências no ensino: discutindo possibilidades para uma educação em ciências mais política. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 3, p. 1083-1100, 2021. DOI 10.5335/rbecm.v4i3.12899.

GUERRA, A.; MOURA, C. B. História da Ciência no ensino em uma perspectiva cultural: revisitando alguns princípios a partir de olhares do sul global. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 28, p. 1-20, 2022. DOI 10.1590/1516-731320220018.

GUIL BOZAL, A. Mujeres y ciencia: Techos de cristal. **Eccos Revista Científica**, v. 10, n. 1, p. 213–232, 2008.

GUIMARÃES, T. S.; MELO, J. S.; MASSENA, E. P.; ROGER, M.; SIQUEIRA, P. Práticas docentes diferenciadas : um olhar sobre formadores de professores de Química , Física e Biologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., Florianópolis, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2017. p. 1-10.

GUIRADO, A. M.; MAZZITELLI, C. A.; LAUDADÍO, M. J. DOCENTES FORMADORES: VALORACIÓN DE UNA EXPERIENCIA DE REFLEXIÓN SOBRE LA FORMACIÓN INICIAL. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED**, p. 1536-1541, 2021.

GUTIERREZ, L. C. M. Formadores de professores de Ciências e Biologia : saberes e ações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2017. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017.

HANUSCIN, D.; DONOVAN, D.; ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A.; BORDA, E.; DEBARI, S.; MELTON, J.; LE, T.; MORRISON, W.; RONCA, R. Supporting the Professional Development of Science Teacher Educators Through Shadowing. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 19, p. 145–165, 2021. DOI: 10.1007/s10763-021-10154-5.

HEERDT, B.; BATISTA, I. L. Possíveis relações entre HFC, concepção da Natureza da Ciência e a questão do gênero feminino na formação docente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

HOFFMANN, M. B.; DELIZOICOV, D. A formação pedagógica dos Docentes do Ensino Superior : uma análise curricular dos Programas de Pós-Graduação de Ciências Biológicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2015. p. 1-10.

HOFFMANN, J.; DELIZOICOV, D. Estágio de Docência: espaço formativo do docente do Ensino Superior na área de Ciências da Natureza. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 891-910, 2017. DOI: 10.24177/rbfeducationissn1984-2686v17i3-798.

HOLLAND, J. Gênero, raça e classe na produção do conhecimento científico: uma perspectiva epistemológica. **Revista Estudos Feministas**, Florianópolis, v. 27, n. 3, e57568, 2019.

HUG, J. W. Exploring instructional strategies to develop prospective elementary teachers' children's literature book evaluation skills for science, ecology and environmental education. **Environmental Education Research**, v. 16, n. 3–4, p. 367–382, 2010. DOI: 10.1080/13504620903549748.

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 20, p. 591-607, 2010. DOI: 10.1007/s11191-010-9293-4.

IZQUIERDO AYMERICH, M. Hacia una teoría de los contenidos escolares. **Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 23, n. 1, p. 111–122, 2005. DOI 10.5565/rev/ensciencias.3861.

IZQUIERDO AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de Química. **Enseñanza de las Ciencias**, no. Número Extra, p. 2–5, 2005.

IZQUIERDO AYMERICH, M.; GARCÍA MARTÍNEZ, Á.; QUINTANILLA GATICA, M.; ADÚRIZ BRAVO, A. **Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias**. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016.

JARAMILLO, C.; RUIZ, M. **Historia de Colombia**. Tomo III. Bogotá: Procultura, 1978.

KAHN, S.; ZEIDLER, D. L. Using our Heads and HARTSS: Developing Perspective-Taking Skills for Socioscientific Reasoning (Humanities, ARTs, and Social Sciences). **Journal of Science Teacher Education**, v. 27, n. 3, p. 261-281, 2016. DOI 10.1007/s10972-016-9458-3.

KAWASAKI, C. S.; OLIVEIRA, L. B. Biodiversidade e educação: As concepções de biodiversidade dos formadores de professores de biologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-9.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura: ensaios filosóficos, 1970-1993**. Tradução de Ana Lúcia A. M. Machado. São Paulo: Editora Unesp, 2013.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1996

LAWLER, D.; SANDRONE, DARÍO RUBÉN. Ortega y Gasset: cinco teses sobre a técnica. **Conicet.gov.ar**, 6 set. 2021.

LEDESMA, N.; FERREIRÓS, J. Historia Cavaillès y Lautman: Repensar las matemáticas en torno a 1935. **La Gaceta de la RSME**, v. 13, n. 1, p. 153–177, 2010.

LEITE, Á. E.; GARCIA DIAS, M. N.; ROCHA, M. Percepção dos formadores de professores sobre o que se ensina aos futuros professores sobre o livro didático de Física. 2013. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS [...]**. Girona, España: [s. n.], 2013. p. 9–12.

LEITE, Á. E.; DIAS GARCIA, N. M.; ROCHA, M. Percepção dos formadores de professores sobre o que se ensina aos futuros professores sobre o livro didático de Física. **Enseñanza de las ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas, n.º Extra, p. 1888-1892, 2013.

LEITE, L.; DOURADO, L.; MORGADO, S. Initial Science Teacher Education in Portugal: The Thoughts of Teacher Educators About the Effects of the Bologna Process Initial Science Teacher Education in Portugal: **Journal of Science Teacher Education**, v. 27, n. 8, p. 873-893, 2016. DOI: 10.1007/s10972-016-9492-1.

LEMKE, J. L. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 3, p. 296-316, 2001. DOI: 10.1002/1098-2736(200103)38:3<296::AID-TEA1007>3.0.CO;2-R.

LOCARNINI LAIOLO, G.; TURNER, S.; ROSSI, A.; GAVIDIA CATALÁN, V. Reorientaciones en torno a las competencias de los formadores de profesores de Biología de la provincia de Buenos Aires (Argentina). In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 8., 2009. **Actas [...]**. [S. l.: s. n.], 2009. p. 69-80.

LOGIURATO, F.; LLIVE CARRILLO, W. R.; JIMENEZ PAUTE, R. C.; YÁNEZ RAMIREZ, E. V. Jugando con los polarizadores: una propuesta de un laboratorio didáctico interdisciplinario sobre la luz polarizada. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. 1509-1538, 2021. DOI 10.5007/2175-7941.2021.e81439.

LOUREIRO PARENTE, G. A. Narrativas de uma formadora de professores e o ensino de conhecimento químico (ciências) nos anos iniciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., Florianópolis, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2017. p. 1-12.

MACHADO, A. R.; MARQUES, C. A. Mestrado nacional profissional em Ensino de Física – Possibilidades formativas para os formadores de professores. 2019. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–9. MACIEL, Maria Delourdes. Representações de formadores de professores acerca da profissão e da formação docente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2017. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017.

MAFFÍA, D. Ciencia, género y sexualidades. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS**, v. 7, n. 20, p. 41-61, 2012.

MAIZTEGUI, A.; CABALLERO, M. C.; FERNÁNDEZ, G.; FERNÁNDEZ, M. La tecnología, una dimensión olvidada en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 1, p. 3-10, 2002.

MANASSERO MAS, M. A.; VÁZQUEZ ALONSO, Á. Los estudios de género y la enseñanza de las Ciencias. **Revista de Educación**, v. 97, n. 30, p. 251–280, 2003.

MANSANO NAVARRO, T. E.; URSI, S. Utilização didática de imagens por formadores de futuros professores de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

MANSFIELD, J.; LOUGHRAN, J. Pedagogical Equilibrium as a Lens for Understanding

Teaching about Teaching. **Studying Teacher Education**, v. 14, n. 3, p. 246–257, 2018. DOI: 10.1080/17425964.2018.1541274.

MARCELO, C.; VAILLANT, D. La formación inicial docente: problemas complejos-respuestas disruptivas. **Cuadernos de Pedagogía**, v. 489, p. 27-32, 2018.

MARTÍNÉZ-CHAVANZ, R. La barrera epistemológica: una propuesta de análisis histórico de la ciencia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 14, n. 1, pp. 81-93, 2004.

MARTÍNEZ-CHICO, M.; JIMÉNEZ-LISO, M. R.; LÓPEZ-GAY, R. Concepciones de formadores universitarios sobre la formación inicial del profesorado de ciencias. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 264-283. 2014.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há Muitas Pedras Nesse Caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007.

MARTINS, I.; GOUVEA, G.; JANSEN, M.; TERRERI, L.; FERNANDES, A.; ASSUMPÇÃO, A. Textos, sujeitos e discursos: apropriação de textos de ciências por formadores de professores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

MARTINS, I.; GOUVEA, G.; JANSEN, M.; TERRERI, L.; FERNANDES, A.; ASSUMPÇÃO, A. Transitando fronteras. Reflexiones a partir del análisis del discurso de formadores de profesores de Ciencias. **Revista Mexicana de Investigación Educativa**, v. 11, n. 31, p. 1127-1150, 2006.

MATHARAN, S. Las concepciones sobre la ciencia y su enseñanza en América Latina y el Caribe. In: ACEVEDO, R.; RODRÍGUEZ, M. R.; JIMÉNEZ, R. (Eds.). **Enseñanza de las ciencias y educación inclusiva: Contribuciones desde la investigación educativa en América Latina**, CLACSO, 2016. pp. 19-36.

MATHARAN, S. La enseñanza de la ciencia desde la perspectiva de la Educación para la Justicia Social en América Latina. In: ACEVEDO-DÍAZ, J.A.; RODRÍGUEZ-MUÑIZ, M.; LÓPEZ-MORALES, E.A. (Eds.). **Investigación en Educación en Ciencias: una mirada desde Iberoamérica**, UNAM, 2017. pp. 61-79.

MATOS, M. C. G. Professores formadores de Professores de Ciências : sentidos e significados da própria prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2007. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2007.

MATTHEWS, M. R. The philosophical health of science teachers. **Science & Education**, v. 26, n. 5-6, p. 535-551, 2017. DOI: 10.1007/s11191-017-9907-6

MATUS-LÓPEZ, M.; GALLEGU-MORÓN, A. El techo de cristal en las universidades latinoamericanas. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 68, n. 3, p. 1-12, 2015.

MAURY, A. C; PICKERING, E. C. Spectra of Bright stars. **Annals of the astronomical observatory of Harvard College.**, v. XXVIII, n. 1, p. 37–72, 1897. Available at: https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil

wars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625.

MEMBIELA, P. M. **Uma investigação sobre a avaliação de atividades práticas de laboratório na formação de professores**. Editora UFPE, 2009.

MILAN, G.; MIÑO, A. Creencias acerca de la naturaleza de la ciencia: un análisis en estudiantes de pedagogía y sus formadores. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 417-434, 2021.

MIRANDA, E. M. A visão de professores universitários sobre a influência da ciência e da tecnologia na sociedade. **Revista Ciência em Extensão**, v. 17, p. 132-139, 2021.

MIRANDA E CARVALHO, C. V.; SILVEIRA, H. E. Processo formativo do docente em Química : reflexões acerca da práxis do professor formador. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Atas [...]**. Natal, RN: [s. n.], 2019. p. 1-7.

MODEL, C.; ALVES, M. F. S.; LEBOEUF, H. A. A história e filosofia da ciência no ensino de física: uma análise das publicações com propostas implementadas em sala de aula. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v. 3, n. 3.23317, p. 739-756, 2019.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Unijuí, 2006.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, UFSM, v. 36, n. 2, p. 373-386, 2011.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: uma revisão crítica. *In*: MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. (Orgs.). **Estudos de Linguagem**: abordagens discursivas. Bagé: Ediurcamp, 2016. p. 51-85.

MOURA, B. A. **Formação crítico-transformadora de professores de Física**: uma proposta a partir da História da Ciência. 2012. 309 f. Tese (Doutorado em Ensino) - Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOURA, C. B. Para que história da ciência no ensino ? Algumas direções a partir de uma perspectiva sociopolítica. **RBECM**, v. 4, n. Edição especial, p. 1155–1178, 2021.

MOURA, G. M. S.; GUERRA, A. F. S. Gênero e cultura científica em sala de aula: reflexões a partir de um curso de formação de professores de biologia. **Ciência & Educação**, v. 22, n. 3, p. 721-736, 2016.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Concepções sobre problematização na educação em ciências. **Enseñanza de las ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas. Girona, España: [s. n.], p. 2447-2451, 2013.

MURPHY, P.; WHITELEGGE, D. A. Gender and science education: a review of the literature since 1990. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 3, p. 352-377, 2006.

NACENTA TORRES, P.; NACENTA MENDIVIL, J. Taller de experiencias sobre la luz. **Alambique Didáctica de las ciencias experimentales**, n. 85, p. 38–43, 2016.

NARDI, R.; ALMEIDA, M. J. P. M. Investigação em Ensino de Ciências no Brasil segundo pesquisadores da área: alguns fatores que lhe deram origem. **Pro-Posições**, Campinas, SP, v. 18, n. 1, p. 213–226, 2016.

NARDI, R.; ALMEIDA, M. J. P. M. Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns caminhos trilhados e perspectivas para o futuro. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 209–233, 2007.

NARRA VICTORIA, F. C. El lugar de producción de la Historia: el sujeto histórico Michel de Certeau. **Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura**, v. 0, n. 34, 2007.

NIETO OLARTE, M. El discurso sobre el poder y las prácticas científicas en la Nueva Granada, 1750-1850. **Ensayos de historia social y política**, v. 9, p. 49-70, 1995. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-8.

NONENMACHER, S. E. B.; ARAUJO, M. C. P. A prática profissional integradano curso de licenciatura em química: uma possibilidade de formação do professor reflexivo. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas** [S. l.: s. n.], p. 2527–2530, 2013.

NUÑO GÓMEZ, L.; ÁLVAREZ CONDE, E.. Androcentrismo académico: la ficción de un conocimiento neutral. **Feminismo/s**, n. 29, p. 279–297, 2017. DOI: 10.14198/fem.2017.29.11.

NUÑO, M. Á. **La enseñanza de las ciencias: perspectivas y problemas**. Madrid: Morata, 2000.

ÓLAFSSON, A. Entrevista a maría luisa calvo. **Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura**, v. 191, n. 775, 2015. DOI: 10.3989/arbor.2015.775n5007.

OLIVEIRA, F. A. **Aspectos do desenvolvimento profissional de professores a partir do diálogo teoria/prática em um programa de formação continuada em astronomia**. 2020. 150 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2020.

OLIVEIRA, M. S.; MARTINS, G. F.; SILVA, K. M. C. A. A ideologia e o lenguaje: uma discussão a partir de Michel Pêcheux. **Revista Ártemis**, v. 27, n. 2, p. 42-60, 2020.

OLIVEIRA, M. R. G.; BOZZINI, I. C. T.; FREITAS, D. Parceria entre universidade e escola pública: uma possibilidade de formação continuada de professores de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS [OCDE]. **Educación en Colombia**. 2016

ORLANDI, E. P. **Análise de Discurso: Princípios & Procedimentos**. 6. ed. [S. l.]: Pontes,

2006.

ORLANDI, E. P. *Análise de discurso: princípios e procedimentos*. 7. ed. Campinas: Pontes, 2004.

ORLANDI, E. P. *Lenguaje y método: una cuestión del análisis del discurso*. trans. by Julieta Haidar. **Discurso. Cuadernos de teoría y análisis**, Ciudad de México, p. 33–46, 1992.

ORLANDI, E. P. Paráfrase e Polissemia: A fluidez nos limites do simbólico. **Rua**, Campinas, v. 4, p. 9–19, 1998.

ORLANDI, E. P. Texto E Discurso. **Organon**, v. 9, no 23, p. 111–118, 2012. DOI: 10.22456/2238-8915.29365.

ORTEGA QUEVEDO, V.; GIL PUENTE, C. La cultura del pensamiento en la enseñanza de naturaleza de la ciencia. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 33, n. 1, e23011, 2021. DOI: 10.24197/ref.33.1. e23011.

ORTIZ, A. J.; BATISTA, I. L. Percepções de docentes formadores quanto ao Conhecimento Pedagógico do Conteúdo em uma sequência didática para abordagens metodológicas para o ensino de Relatividade com enfoque Histórico. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2015. p. 1-10.

ORTIZ, M. C. B.; ELIZABETH, F. S. Incidencia de los libros de textos en la enseñanza y representaciones sobre la ciencia en el profesorado en biología de los Institutos Superiores de Formación Docente de Chaco y Corrientes (República Argentina). **Tecné, Episteme y Didaxis: TED**, 2009. DOI: 10.17227/01203916.235.

OSUNA GARCÍA, L. Cómo vemos los colores. **Alambique Didáctica de las ciencias experimentales**, n. 85, p. 23–29, 2016.

OTTOGALLI, M. E.; BERMUDEZ, G. M. Á. Análisis del conocimiento didáctico del contenido de la biodiversidad y la didáctica en docentes formadores. In: CONGRESO INTERNACIONAL EN INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 11., 2021. **Actas Electrónicas [...]**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponible en: http://www.researchgate.net/publication/258644061_Libro_de_Actas_del_V_Foro_Iberomericano_de_los_Recursos_Marinos_y_la_Acuicultura/file/3deec528c8c45982e7.pdf. Acceso en: 15 mayo 2023.

PACCA, J. L. A. Formação contínua e mudança da prática pedagógica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 435-450, 2009. DOI: 10.1590/S1517-97022009000200012.

PALOMERA-ROJAS, P.; MARTÍNEZ-GALAZ, C.; MONTENEGRO MAGGIO, M. Género y Ciencia: Expresiones de las relaciones de poder en la educación científica. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, v. 29, n. 112, p. 449-471, 2021.

PARGA LOZANO, C. I. **Conocimiento didáctico del contenido ambientalizado en la formación inicial del profesor de química en Colombia**. 2021. 152 f. Tesis (Doctorado en

Educación en Ciencias y Medio Ambiente) - Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2021.

PÊCHEUX, M. Análise de discurso: três épocas. *In*: GADET, F.; HAK, T. (Org.). **Por uma análise automática do discurso**: uma introdução à obra de Michel Pêcheux. 3. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1997. p. 25-42.

PERALES PALACIOS, F. J. Analisis de contenidos en optica geometrica. **Investigacion Y Experiencias**, v. 5, n. 3, p. 211–219, 1987.

PERÉZ MIRANDA, R. La didáctica de la modelación en formadores de formadores. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

PICKERING, A. **The mangle of practice**: Time, agency, and science. University of Chicago Press, 1995.

PESA DE DANON, M.; CUDMANI, L. C. Paralelismo entre los modelos precientíficos e históricos en la optica - implicancias para la educación. **Caderno Catarinense Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 128–136, 1993.

PESA, M. A; CUDMANI, L. C. ¿Qué ideas tienen los estudiantes respecto a la visión? **Revista Educación y Pedagogía**, v. X, n. 4000, p. 15–33, 1998.

PIMENTEL, J. ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? **Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura**. v. 186, n. 743, p. 417–424, 2010. DOI 10.3989/arbor.2010.743n1206.

PIMENTEL, J. Teorías de la Luz y el color en la época de las luces. De Newton a Goethe. **Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura**, v. 191, n. 775, 2015.

PIZZATO, M. C.; SIQUEIRA HARRES, J. B.; SEBASTIANY, A. P.; DILE, I. F.; BERGMAN, M. Relaciones entre concepciones epistemológicas y didácticas: percepciones de alumnos y docentes en la formación de profesores de ciencias. *In*: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE FORMACIÓN DE PROFESORES DE CIENCIAS, 3., 2007, Bogotá. **Actas [...]**. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, 2007.

PIZZUTTI, L.; ALVES, F. Elementos CTS nas aulas de professores formadores no Ensino Superior. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 1-14, 2017. Disponible en: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/5807>. Acceso en: 15 mayo 2023.

RAMÍREZ, M.; TÉLLEZ, M. A. **Educación superior y sociedad en Colombia**: una mirada crítica. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006.

RAMOS, J. T. J.; SILVA, A. M. T. B. A interdisciplinaridade para o formador em ciências : concepções sobre a prática e suas possíveis divergências. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Atas [...]**. Natal, RN: [s. n.], 2019. p. 1-7.

REVEL CHION, A.; ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Qué historias contar sobre la emergencia de

enfermedades? El valor de la narrativa en la enseñanza de las ciencias. **Tecne, Episteme y Didaxis**: TED, v. 36, p. 47–60, 2014.

RIBEIRO, J. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 355, 2016. DOI 10.5007/2175-7941.2016v33n2p355.

RIBEIRO, E. S. M.; GATTI JÚNIOR, D.; MARINHO-ARAUJO, C. M.; ALVES, F. A.; AZEVEDO, J. C. S. Interações pesquisador-professor em um processo formativo reflexivo. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 26, e26987, 2021. DOI: 10.1590/s2178-342x202100060026987.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. Os parâmetros curriculares nacionais na formação inicial dos professores das Ciências do Ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., Águas de Lindóia, 2005. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-9.

ROBERTS, L. Situating Science in Global History: Local Exchanges and Networks of Circulation. **Itinerario**, v. 33, n. 1, p. 9–30, 11 Mar. 2009. DOI 10.1017/S0165115300002680.

RODRIGUES MORAIS, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Análise de discurso crítica e ensino de história das ciências: uma proposta metodológica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 1-22, 2019.

RODRIGUES RIBAS, M; ALVES, M. A. A pesquisa dos formadores em um projeto colaborativo e seu desenvolvimento profissional. [s. d.]. [S. l.: s. n.], [s. d.]. p. 2651–2655.

RODRÍGUEZ, M. **El enfoque de género**: una herramienta para la investigación en Ciencias Sociales. Santiago de Cuba: Centro de Estudios Multidisciplinarios de Género, Universidad de Oriente, 2008.

ROMERO, P. A. *et al.* Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia. **REEC**: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias, v. 2, n. 3, p. 10, 2003.

SALAS CARVAJAL, E. Relación entre investigación y docencia universitaria: Concepciones de un grupo de académicos de un programa de formación inicial de profesores de ciencias. **Enseñanza de las ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas, n. Extra, p. 431-436, 2017.

SÁNCHEZ, C. H. Los cuadernos de Julio Garavito Una antología comentada. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 31, n. 0370–3908, p. 253–266, 2007.

SÁNCHEZ, J. F. M.; MANRIQUE, M. M. A.; OSORIO, S. S. **Construcción de fenomenologías y procesos de formalización**. [S. l.: s. n.], 2019. DOI: 10.2307/j.ctvfc53hj.

SANTANA, L. M.; ASSIS, S. S.; ARAUJO-JORGE, T. C. Terapia Comunitária Integrativa: uma análise sobre a percepção de formadoras em relação ao percurso formativo dos terapeutas

comunitários e os recursos educacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 13., Virtual, 2021. **Atas [...]**. Virtual: [s. n.], 2021. p. 1-10.

SANTOS, A. G. F.; QUEIROZ, G. R. P. C.; DOMINGOS, P.; CATARINO, G. F. C. A formação de professores de ciências na perspectiva interdisciplinar sobre a flutuação para vida no planeta: pelos caminhos da co-docência. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 21, p. 1–20, 2019. DOI: 10.1590/1983-21172019210116.

SANTOS, W. L. P. Scientific literacy: A freirean perspective as a radical view of humanistic science education. **Science Education**, v. 93, n. 2, p. 361–382, 2009. DOI: 10.1002/sce.20301.

SCHNEIDER, R. M. A framework for identifying the development of a science teacher educator's professional knowledge. **Science Education**, v. 91, n. 5, p. 810-841. 2007.

SHARMA, A.; ANDERSON, C. W. Recontextualization of science from lab to school: Implications for science literacy. **Science and Education**, v. 18, n. 9, p. 1253–1275, 2009. DOI: 10.1007/s11191-007-9112-8.

SERRANO, J. M.; PONS PARRA, J. **Constructivismo sociocultural: hacia un aprendizaje significativo**. Barcelona: Editorial UOC, 2011.

SILVA, B. V. C. Aspectos da natureza da ciência na sala de aula: o caso da natureza da luz nos séculos XVII e XVIII. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 214–236, 2016. DOI: 10.3895/rbect.v9n2.1722.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos : o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 30, no. 1, p. 1600-1–9, 2008.

SILVA, E. C.; ALMEIDA, M. J. P. M.; CARVALHO, A. M. P.; COSTA, C. S.; OLIVEIRA, F. A.; MIRANDA, L. C.; MELO, S. R. P. Grupos de Planejamento Conjunto como formação continuada de docentes formadores do curso de licenciatura em física: contribuições da Teoria do Agir Comunicativo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 4, e4413, 2013. DOI: 10.1590/S1806-11173880002.

SILVA, J. R. N.; ORQUIZA DE CARVALHO, L. M.; SOUZA FILHO, M. P.; ARAYA, A. M. O. Grupos de Planejamento Conjunto como formação continuada de docentes formadores do curso de licenciatura em física: Contribuições da Teoria do Agir Comunicativo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-9.

SILVA, R. L. F.; HAMADA, C. A.; JÚNIOR, C. G. A.; BOTELHO, M. C. Desafios da avaliação em educação ambiental na formação continuada de professores: Uma proposta de indicadores. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 112, p. 538-559, 2021. DOI: 10.1590/s0104-40362020002802631.

SILVA, L. H. A.; FERREIRA, F. C. Concepções de professor de formadores em ações de formação continuada. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 2013. p. 1-

9.

SILVA, L. H. A.; SCHNETZLER, R. P. Buscando o caminho do meio: A “sala de espelhos” na construção de parcerias entre professores e formadores de professores de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 6, n. 1, p. 43–54, 2000. DOI: 10.1590/s1516-73132000000100005.

SILVA RATZ, S. V. A construção de indicadores de alfabetização científica na formação continuada de professores. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, 2013, n.º Extra, pp. 3601-3605,

SILVA, R. S.; ERROBIDART, N. C. G. Sobre as pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 618, 2015. DOI 10.5007/2175-7941.2015v32n3p618.

SMITH, D. C. Content and pedagogical content knowledge for elementary science teacher educators: knowing our students. **Journal of Science Teacher Education**, v. 11, n. 1, p. 27–46, 2000. DOI: 0.1023/A:1009471630989.

SOBEL, D.; PACHECO GONZÁLES, P. **El Universo de cristal**. La historia de las mujeres de Harvard que nos acercaron a las estrellas. [S. l.: s. n.], 2017.

SOLBES MATARREDONA, J.; GARCÍA ZACARÉS, J. ¿Qué sucede con la enseñanza de la óptica? **Revista Española de Física**, v. 7, n. 4, p. 38–43, 1993.

SOLSONA, N. La enseñanza de la ciencia desde la perspectiva de género. **Revista Complutense de Educación**, v. 22., n. 1, p. 15-28, 2011.

SOUZA, F. L.; GONÇALVES, T. V. O. Narrativas de formadores de professores de Química : Uma abordagem da prática de formação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2017. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017.

SOUZA, R. A. A Análise do Discurso na formação de professores de ciências: possibilidades e desafios. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10, Águas de Lindóia, 2014. **Anais [...]** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2014.

ST. CLAIR, T. L.; WHEELER, L. B.; MAENG, J. L.; BELL, R. L. Mixed-methods analysis of science teacher educator professional development: a five-year longitudinal study. **Professional Development in Education**, p. 1–24, 2020. DOI: 10.1080/19415257.2020.1787191.

STEFANIDOU, C.; PSOMA, V. **Integrated View of Understanding NOS: The Case of Ptolemy’s Experiments on Refraction**. 2019. Thessaloniki Greece: [s. n.], 2019. p. 157–163.

SUART JÚNIOR, J. B.; ZULIANI, S. R. Q. A.; CARNEIRO, M. C. Ser cientista pesquisador formador de professores na universidade brasileira. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n.º Extra, p. 1935-1940, 2017.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. [S. l.: s. n.], v. 30, p. 9–40,

2013. DOI: 10.5007/2175-7941.2013v30n1p227.

TOBÓN CARDONA, É.; ROMERO-CHACÓN, Á. E. Capítulo 3. Los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos. **Los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 32–56.

TOSSATO, C. R. A função do olho humano na óptica do final do século XVI. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 3, p. 415–441, 2005. DOI: 10.1590/s1678-31662005000300004.

TOSSATO, C. R. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler. **Scientiae Studia**, vol. 5, p. 471–499, 2007. DOI 10.1590/S1678-31662007000400003.

UNESCO - IESALC. **Mujeres en la educación superior**: ¿la ventaja femenina ha puesto fin a las desigualdades de género? , p. 68, 2021. Available at: <https://www.iesalc.unesco.org/2021/03/10/informe-de-unesco-iesalc-afirma-que-la-desigualdad-de-genero-en-la-educacion-superior-sigue-siendo-un-problema-universal/>.

URRA, E.; MUÑOZ, A.; PEÑA, J. El análisis del discurso como perspectiva metodológica para investigadores de salud. **Enfermería Universitaria**, v. 10, n. 2, p. 50–57, 2013. DOI: 10.1016/S1665-7063(13)72629-0.

VAILLANT, D. Formación de Formadores. Estado de la práctica. **Preal**, n. 25, p. 47, 2002.

VAILLANT, D. Formación inicial del profesorado en América Latina : dilemas centrales y perspectivas. **Revista Española de Educación Comparada**, v. 0, n. 22, p. 185–206, 2013. DOI: 10.5944/reec.22.2013.9329.

VALENCIA, F. **La educación como formación política**. Cali: Universidad del Valle, 2006. 203 p.

VAN DRIEL, J. H.; BEIJAARD, D.; VERLOOP, N. Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 2, p. 137-158. 2001.

VANEGAS-ORTEGA, C.; MARTÍNEZ GALAZ, C.; HENRÍQUEZ RIVAS, C. Cómo favorecer el desarrollo profesional docente colaborativo entre didactas de Ciencias y matemáticas. **Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 111, p. 1150-1169, 2021. DOI: 10.1590/s0104-40362020002802830.

VIANA, G. M.; MUNFORD, D.; MORO, L. Relações teoria e prática na formação de professores de ciências e biologia: a perspectiva de uma professora formadora. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

VIDAL LÓPEZ, M.; MEMBIELA IGLESIA, P. Una investigación sobre la evaluación de actividades prácticas de laboratorio en la formación de los maestros. **Enseñanza de las ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas, n.º Extra, p. 2455-2458, 2009.

VIEIRA, M.; CENTA, F. G.; TERRAZZAN, E. A. Caracterização da prática docente de uma

professora supervisora de estágio curricular de ensino de Física. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 12., 2019, Natal. **Actas [...]**. Natal, RN: [s. n.], 2019. p. 1-10.

VIEIRA MARQUES, R.; ALEXANDRE, S. R.; SARAIVA MARIA, A. O papel do formador e da sua supervisão para a mudança de práticas pedagógico-didáticas em ensino experimental das ciências: um estudo de caso com professores do 1º CEB. *In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS*, 8., 2009. **Actas [...]**. [S. l.: s. n.], 2009. p. 1246–1249.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; BRITO, A. A. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2021-0028.

VIEIRA, R. D.; NASCIMENTO, S. S. Procedimentos discursivos didáticos de um formador em situações argumentativas na formação inicial de professores de física. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 6., 2007. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2007. p. 1-12.

VILELA-RIBEIRO, E. B.; BENITE CANAVARRO, A. M. Alfabetização científica e educação inclusiva no discurso de professores formadores de professores de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 19, n. 3, p. 781–794, 2013. DOI: 10.1590/s1516-73132013000300016.

VILLAMIL PINEDA, M. Á.. Fenomenología de la mirada. **Discusiones filosóficas**, v. 10, n. 14, p. 97–118, 2009.

VIVEIRO, A. A.; CAMPOS, L. M. L. Um olhar sobre os docentes de área específica em um curso de licenciatura em ciências : reflexos na formação inicial de professores. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS*, 8., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011, p. 1-12.

WAN, Z. H.; WONG, S. L.; ZHAN, Y. L.; CHEN, C., LI, X. Y.; CHEN, S. Preservice science teachers' conceptions of teaching: the relationship with pedagogical content knowledge and contextual factors. **Journal of Science Teacher Education**, v. 24, n. 6, p. 1021-1042, 2013.

ZHANG, B.; KRAJCIK, J. S.; SUTHERLAND, L. M.; WANG, L. E. I.; WU, J.; QIAN, Y. Opportunities and challenges of china's inquiry-based education reform in middle and high schools: perspectives of science teachers and teacher educators abstract. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 1, p. 477–503, 2004.

APÉNDICES

Apéndice A – Modelo para análisis y revisión crítica del banco de documentos de la revisión sistematizada sobre formadores de profesores de Ciencias naturales

Modelo para análisis y revisión crítica del banco de documentos de la revisión sistematizada sobre formadores de profesores de Ciencias Naturales.	
Título:	
Citación:	
Autores:	
Año de publicación:	Revista:
Objetivo principal:	
Tipo de investigación:	
Participantes de la investigación	
Área de trabajo- enseñanza de los participantes	
Método de obtención de datos:	
País donde se desarrolla la investigación:	
Principal referente teórico:	
Aspectos relevantes:	
Palabras claves para categorizar el trabajo	
Comentarios, notas, reflexiones del trabajo	

Apéndice B – Listado de los artículos de investigación sobre los formadores de profesores de Ciencias analizados en la revisión sistematizada

ETI.	AÑO	TÍTULO	AUTORES
A.1	2000	Content and Pedagogical Content Knowledge for Elementary Science Teacher Educators: Knowing our students	Smith, D.C
A.2	2000	Buscando o caminho do meio: a “sala de espelhos” na construção de parcerias entre professores e formadores de professores de ciências	Silva, L. H. D. A., & Schnetzler, R. P
A.3	2005	Opportunities and challenges of China’s inquiry-based education reform in middle and high schools: perspectives of science teachers and teacher educators	Zhang, B., Krajcik, J. S., Sutherland, L. M., Wang, L., Wu, J., & Qian, Y
A.4	2006	Transitando fronteras: Reflexiones a partir del análisis del discurso de formadores de profesores de Ciencias	Martins, I., Gouvêa, G., Jansen, M., Terreri, L., Santos, A., & Assumpção, A
A.5	2007	Science Teacher Educators as a Community of Practice	Schneider, R
A.6	2007	An Analysis of the Processes of Change in Two Science Teachers Educators’ Thinking	Greensfeld, H., & Elkad-Lehman, I
A.7	2009	Uma visão integrada dos procedimentos discursivos didáticos de um formador em situações argumentativas de sala de aula	Vieira, R. D., & Nascimento, S. S. D.
A.8	2009	Preparing the Next Generation of Science Teacher Educators: A Model for Developing PCK for Teaching Science Teachers	Abell, S. K., Rogers, M. A. P., Hanuscin, D. L., Lee, M. H., & Gagnon, M. J
A.9	2010	Exploring instructional strategies to develop prospective elementary teachers’ children’s literature book evaluation skills for science, ecology and environmental education	Hug, J. W
A.10	2012	Caracterización de docentes a cargo de la formación docente inicial en física en argentina	Giuliano, M., Giacosa, N., Concarì, S., Giorgi, S., Marchisio, S., Meza, S., ... & Catalán, L

ETI.	AÑO	TÍTULO	AUTORES
A.11	2013	Alfabetização científica e educação inclusiva no discurso de professores formadores de professores de ciências	Vilela-Ribeiro, E. B., & Benite, A. M. C
A.12	2013	When Nature of Science Meets Marxism: Aspects of Nature of Science Taught by Chinese Science Teacher Educators to Prospective Science Teachers	Wan, Z. H., Wong, S. L., & Zhan, Y
A.13	2013	Focusing on the Classical or Contemporary? Chinese Science Teacher Educators' Conceptions of Nature of Science Content to Be Taught to Pre-service Science Teachers	Wan, Z. H., Wong, S. L., Wei, B., & Zhan, Y
A.14	2013	Teaching About Teaching Science: Aims, Strategies, and Backgrounds of Science Teacher Educators	Berry, A., & Van Driel, J. H
A.15	2013	An Examination of Black Science Teacher Educators' Experiences with Multicultural Education, Equity, and Social Justice	Atwater, M. M., Butler, M. B., Freeman, T. B., & Carlton Parsons, E. R
A.16	2014	La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales	Martínez-Chico, M., Lucio-Villegas, R. L. G., & Jiménez-Liso, M. R
A.17	2016	Initial Science Teacher Education in Portugal: The Thoughts of Teacher Educators About the Effects of the Bologna Process	Leite, L., Dourado, L., & Morgado, S
A.18	2016	Using our Heads and HARTSS*: Developing Perspective-Taking Skills for Socioscientific Reasoning (*Humanities, arts, and Social Sciences)	Kahn, S., & Zeidler, D. L.
A.19	2016	Science initial teacher education and superdiversity: educating science teachers for a multi-religious and globalized science classroom	De Carvalho, R
A.20	2017	Science teacher educators' engagement with pedagogical content knowledge and scientific inquiry in predominantly paper-based distance learning programs	Fraser, W. J
A.22	2017	Science Teacher Education in the Twenty-First Century: A Pedagogical Framework for Technology-Integrated Social Constructivism	Barak, M
A.23	2018	Pedagogical Equilibrium as a Lens for Understanding Teaching about Teaching	Mansfield, J., & Loughran, J

ETI.	AÑO	TÍTULO	AUTORES
A.24	2018	Learning Together about Culturally Relevant Science Teacher Education: Indigenizing a Science Methods Course	Azam, S., & Goodnough, K
A.25	2019	A formação de professores de ciências na perspectiva interdisciplinar sobre a flutuação para vida no planeta: pelos caminhos da co-docência	Santos, A. G. F. D., Queiroz, G. R. P. C., Domingos, P., & Catarino, G. F. D. C
A.26	2019	Difficulties in developing a curriculum for pre-service science teachers	Booi, K., & Khuzwayo, M. E
A.27	2020	A educação ciência, tecnologia e sociedade no curso de licenciatura em ciências da UFPR litoral	Domiciano, T. D., & Lorenzetti, L
A.28	2020	Mixed-methods analysis of science teacher educator professional development: a five-year longitudinal study	St. Clair, T. L., Wheeler, L. B., Maeng, J. L., & Bell, R. L.
A.29	2020	Where's the Science? Exploring a New Science Teacher Educator's Theoretical and Practical Understandings of Scientific Inquiry	Donohue, K., Buck, G. A., & Akerson, V
A.30	2021	Supporting the Professional Development of Science Teacher Educators Through Shadowing	Hanuscin, D., Donovan, D., Acevedo-Gutiérrez, A., Borda, E., DeBari, S., Melton, J., ... & Ronca, R
A.31	2021	Foregrounding Intersectionality in Considerations of Diversity: Confronting Discrimination in Science Teacher Education	Burke, L. E. C. A.
A.32	2021	Construção conjunta de práticas como componente curricular por docentes formadores de professores de química: uma análise a partir da teoria do agir comunicativo	Araújo, B. D. S., & Silva, J. R. N. D

Apêndice C – Listado de las comunicaciones en eventos sobre los formadores de profesores de Ciencias analizados en la revisión sistematizada

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.1	2001	ENPEC	Contribuições de um formador de área científica específica para a futura ação docente de licenciandos em biologia	Lenice Heloísa de Arruda Silva Roseli Pacheco Schnetzler
CE.2	2003	ENPEC	Biodiversidade e educação: as concepções de biodiversidade dos formadores de professores de biologia	Clarice Sumi Kawasaki Leonardo Basso de Oliveira
CE.3	2005	ENPEC	Os parâmetros curriculares nacionais na formação inicial dos professores das ciências do ensino médio	Elio Carlos Ricardo Arden Zylbersztajn
CE.4	2005	ENPEC	A experiência de uma formadora num curso de educação continuada de professores de química	Maisa Helena Altarugio Alberto Villani
CE.5	2005	ENPEC	A elaboração conceitual em disciplina da área biológica como referência formativa para a atuação docente de futuros professores	Lenice Heloísa de Arruda Silva Roseli Pacheco Schnetzler
CE.6	2005	ENPEC	Reformas curriculares na licenciatura em física: as intenções legais e o discurso dos formadores	Beatriz S. C. Cortela Roberto Nardi
CE.7	2005	ENPEC	Fundamentos y objetivos de la formación de didactas de las Ciencias en el contexto suramericano	Rómulo Gallego Badillo Adriana Patricia Gallego Torres
CE.8	2005	ENPEC	Parceria entre universidade e escola pública: uma possibilidade de formação continuada de professores de ciências	Márcia Rozenfeld Gomes de Oliveira Isabela C. T. Bozzini Denise de Freitas
CE.9	2005	ENPEC	O uso de analogias e metáforas em aulas de física no ensino superior: algumas considerações	Fernanda C. Bozelli Roberto Nardi

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.10	2005	ENPEC	Textos, sujeitos e discursos: apropriação de textos de ciências por formadores de professores	Isabel Martins Guaracira Gouvea Maíra Jansen, Letícia Terreri, Andre Fernandes, Adriana Assumpção
CE.11	2005	ENPEC	La didáctica de la modelación en formadores de formadores	Royman Pérez Miranda
CE.12	2005	EnsCiencias-Bclna	As TIC na formação de professores para um maior desenvolvimento de atitudes reflexivas	Gomes, c. João helenal caldeira
CE.13	2007	ENPEC	Representações de formadores de professores acerca da profissão e da formação docente.	Maria delourdes maciel
CE.14	2007	ENPEC	Procedimentos discursivos didáticos de um formador em situações argumentativas na formação inicial de professores de física	Rodrigo Drumond Vieira Silvania Sousa do Nascimento
CE.15	2007	CIFP	Relaciones entre concepciones epistemológicas y didácticas: percepciones de alumnos y docentes en la formación de profesores de Ciencias	Michelle Camara Pizzato João Batista Siqueira Harres Ana Paula Sebastiany Ivan Francisco Dile Michele Bergman
CE.16	2009	EnsCiencias-Bclna	Formação contínua e mudança da prática pedagógica	Pacca Lopes de Almeida, J.
CE.17	2009	EnsCiencias-Bclna	O papel do formador no processo reflexivo de professores	Altarugio Helena, M

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.18	2009	EnsCiencias-Bclna	O papel do formador e da sua supervisão para a mudança de práticas pedagógico-didáticas em ensino experimental das ciências: um estudo de caso com professores do 1.º CEB.	Vieira Marques, R Alexandre,S; Saraiva, M
CE.19	2009	EnsCiencias-Bclna	Diálogo em roda - a formação de professores em questão	Aguiar, c.
CE.20	2009	EnsCiencias-Bclna	Una investigación sobre la evaluación de actividades prácticas de laboratorio en la formación de los maestros	Vidal López, M Membiela Iglesia, P
CE.21	2009	EnsCiencias-Bclna	Representaciones en torno a las competencias de los formadores de profesores de biología de la provincia de Buenos Aires (Argentina)	Locarnini Laiolo, G Turner, S Rossi, A Gavidia Catalán, V
CE.22	2009	EnsCiencias-Bclna	A pesquisa dos formadores em um projeto colaborativo e seu desenvolvimento profissional	Rodrigues Ribas, M Abib Alves, M
CE.23	2009	EnsCiencias-Bclna	Simposio: trabalhos colaborativos na formação inicial e continuada de professores para o ensino de ciências	Abib Vital Dos Santos, M
CE.24	2009	EnsCiencias-Bclna	Os discursos de licenciandos, professores universitários e secundários contribuindo para a reestruturação curricular de um curso de licenciatura em física	Camargo Sérgio, S Roberto Nardi
CE.25	2009	CIFP	La formación de profesores de Ciencias a través de su interacción en Comunidades de Desarrollo Profesional	Álvaro García Martínez

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.26	2009	CIFP	Incidencia de los libros de textos en la enseñanza y representaciones sobre la Ciencia en el profesorado en Biología de los Institutos Superiores de Formación Docente de Chaco y Corrientes (República Argentina)	Ortiz, Margarita Cristina Blanco Flavia Sandra Elizabeth
CE.27	2011	ENPEC	Um olhar sobre os docentes de área específica em um curso de licenciatura em ciências: reflexos na formação inicial de professores	Alessandra Aparecida Viveiro Luciana Maria Lunardi Campos
CE.28	2011	ENPEC	Estudos sobre a construção da diversidade na formação inicial de professores de ciências: do discurso de formadores ao currículo escrito	
CE.29	2011	ENPEC	Sobre identidades culturais na formação de professores de química: em foco a educação inclusiva	Claudio R. Machado Benite Eveline Borges Vilela-Ribeiro Anna M. Canavarro Benite
CE.30	2011	ENPEC	O Texto Alternativo e a Formação Inicial de Professores de Ciências: A Compreensão dos Docentes Formadores.	Raquel Sanzovo Pires de Campos Luciana Maria Lunardi Campos
CE.31	2011	ENPEC	Utilização didática de imagens por formadores de futuros professores de ciências	Talita Eloá Mansano Navarro Suzana Ursi
CE.32	2011	ENPEC	Relações teoria e prática na formação de professores de ciências e biologia: a perspectiva de uma professora-formadora.	Viana, Gabriel Menezes Munford, Danusa Moro, Luciana
CE.33	2011	ENPEC	A problematização das atividades experimentais na formação inicial de professores de Química: uma pesquisa com formadores	Fábio Peres Gonçalves Carlos Aberto Marques

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.34	2013	ENPEC	Concepções de professor de formadores em ações de formação continuada	Lenice Heloísa de Arruda Silva Fernando Cesar Ferreira
CE.35	2013	EnsCiencias-Bclna	Percepção dos formadores de professores sobre o que se ensina aos futuros professores sobre o livro didático de física	Álvaro Emílio Leite Nilson Marcos Dias Garcia Marcos Rocha
CE.36	2013	EnsCiencias-Bclna	Concepções sobre problematização na educação em ciências	Cristiane Muenchen Demétrio Delizoicov Neto
CE.37	2013	EnsCiencias-Bclna	A prática profissional integrado curso de licenciatura em química: uma possibilidade de formação do professor reflexivo	Sandra E.B. Nonenmacher Maria Cristina Pansera-De-Araujo José Claudio Del Pino Eva Teresinha de Oliveira
CE.38	2013	EnsCiencias-Bclna	A construção de indicadores de alfabetização científica na formação continuada de professores	Sofa Valeriano Silva Ratz
CE.39	2013	ENPEC	Formação de formadores: a trajetória dos professores de um curso de ciências biológicas	Leandro Vasconcelos Baptista Monike Hyasmin Gomes Miranda Rones de Deus Paranhos Simone Sendin Moreira Guimarães
CE.40	2013	ENPEC	Grupos de Planejamento Conjunto como formação continuada de docentes formadores do curso de licenciatura em física: Contribuições da Teoria do Agir Comunicativo	João Ricardo Neves da Silva Lizete Maria Orquiza de Carvalho Moacir Pereira de Souza Filho Ana Maria Osório Araya

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.41	2013	ENPEC	A formação em serviço de docentes universitários: reflexões sobre um modelo formativo	Beatriz S. C. Cortela
CE.42	2013	ENPEC	O formador no curso de licenciatura em Química do Instituto Federal Farroupilha-campus Panambi: uma reflexão sobre suas concepções acerca da formação docente.	Sandra Elisabet Bazana Nonenmacher Maria Cristina Pansera-de- Araújo José Claudio Del Pino
CE.43	2015	ENPEC	A formação pedagógica dos Docentes do Ensino Superior: uma análise curricular dos Programas de Pós-Graduação de Ciências Biológicas	Marilisa Bialvo Hoffmann Demétrio Delizoicov Neto
CE.44	2015	ENPEC	Percepções de docentes formadores quanto ao Conhecimento Pedagógico do Conteúdo em uma sequência didática para abordagens metodológicas para o ensino de Relatividade com enfoque Histórico	Adriano José Ortiz Irinéia de Lourdes Batista
CE.45	2015	ENPEC	Uma visão geral sobre as metodologias de ensino aplicadas na formação de professores de Ciências em um curso de graduação da USP	Francine dos Santos Aguiar Verónica Marcela Guridi
CE.46	2015	ENPEC	Princípios e Intenções pedagógicas de professores formadores que atuam na área de Ciências Naturais no curso de Pedagogia	Raquel Sanzovo Pires de Campos Luciana Maria Lunardi Campos
CE.47	2015	ENPEC	Uma amostra do enfoque que as pesquisas em Educação em Ciências têm dado a respeito da docência no ensino superior	Beatriz S. C. Cortela

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.48	2015	ENPEC	Os docentes formadores que atuam nos cursos de licenciatura em ciências biológicas da universidade federal de viçosa – perfil e formação	. L Salgado, L. B. Á Silva, P. R. Castelobranco, A. L Pereira, A. L Bontempo, G. C
CE.49	2015	ENPEC	A tendência professora pesquisador na formação de formadores de Biologia	Cinara Calvi Anic Amarildo Menezes Gonzaga Whasgthon Aguiar de Almeida
CE.50	2016	CIFP	Parceria e Co-formação de Professores	Fernandes, Hylio Lagana Dessotti, Elise
CE.51	2017	EnsCiencias-Bclna	Ser cientista pesquisador formador de professores na universidade brasileira	José Bento Suart Júnior Sílvia Regina Quijadas Aro Zuliani Marcelo Carbone
CE.52	2017	EnsCiencias-Bclna	Relación entre investigación y docencia universitaria: concepciones de un grupo de académicos de un programa de formación inicial de profesores de Ciencias	Erika Salas Carvajal
CE.53	2017	EnsCiencias-Bclna	Formação e atuação de docentes nas disciplinas de prática de ensino em cursos de formação de professores das ciências exatas e naturais	Leila Inês Follmann Freire Lucimar Araujo Braga Isabeli Cristina De Lara Ana Lúcia Pereira
CE.54	2017	ENPEC	Práticas docentes diferenciadas: um olhar sobre formadores de professores de Química, Física e Biologia	Thiago Santos Guimarães Elisa Prestes Massena Jacilene Silva De Melo Elisa Prestes Massena Maxwell Roger Da P. Siqueira

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.55	2017	ENPEC	Prática como Componente Curricular: as lentes que constituem os óculos dos formadores de professores de Química	Vivian dos Santos Calixto Neide Maria Michellan Kiouranis
CE.56	2017	ENPEC	Estágio de Docência: espaço formativo do docente do Ensino Superior na área de Ciências da Natureza	Marilisa Bialvo Hoffmann Demétrio Delizoicov Neto
CE.57	2017	ENPEC	Elementos CTS nas aulas de professores formadores no Ensino Superior	
CE.58	2017	ENPEC	Professores Formadores de Professores de Ciências: sentidos e significados da própria prática	Maria da Conceição Gemaque de Matos
CE.59	2017	ENPEC	Processos de desenvolvimento profissional dos formadores de professores de Ciências	Carolina dos Santos Fernandes Carlos Alberto Marques
CE.60	2017	ENPEC	Narrativas de uma formadora de professores e o ensino de conhecimento químico (ciências) nos anos iniciais	Andrela Garibaldi Loureiro Parente
CE.61	2017	ENPEC	Narrativas de formadores de professores de química: uma abordagem da prática de formação	Fábio lustosa Souza Terezinha Valim Oliver Gonçalves
CE.62	2017	ENPEC	A ciência a partir da vivência de ser cientista docente-pesquisador formador de professores na indissociabilidade do tripé universitário: um estudo fenomenológico	José Bento Suart Júnior Sílvia Regina Quijadas Aro Zuliani Marcelo Carbone

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.63	2017	ENPEC	Formadores de professores de Ciências e Biologia: saberes e ações	Luciana Campos Matheus Gutierrez
CE.64	2017	ENPEC	Saberes docentes mobilizados no estágio supervisionado em Química	Lidiane Borges Dutra Muniz José Gonçalves Teixeira Júnior Rejane Maria Ghisolfi Silva
CE.65	2018	CIFPCN	O ensino, a pesquisa e a extensão na constituição da docência no ensino superior	Sandro Roberto Cossetin
CE.66	2019	ENPEC	Processo Formativo do Docente em Química: reflexões acerca da práxis do professor formador	Christina Vargas Miranda e Carvalho Hélder Eterno da Silveira
CE.67	2019	ENPEC	A interdisciplinaridade para o formador em ciências: concepções sobre a prática e suas possíveis divergências.	Juliana Teixeira Jeus Ramos Alcina Maria Testa Braz da Silva
CE.68	2019	ENPEC	Produção de Conhecimento sobre as Licenciaturas em Educação do Campo: uma análise em teses e dissertações	Cherlei Marcia Coan Sylvia Regina Pedrosa Maestraelli
CE.69	2019	ENPEC	Avaliação da aprendizagem no Ensino Superior: concepções de professores de um curso de Licenciatura em Química.	Thiago Cardoso de Deus Miriã Lopes Guimarães
CE.70	2019	ENPEC	Mestrado nacional profissional em ensino de física – possibilidades formativas para os formadores de professores	Aniara Ribeiro Machado Carlos Alberto Marques

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.71	2019	ENPEC	Caracterização da prática docente de uma professora supervisora de estágio curricular de ensino de Física	Marilene Vieira Fernanda Gall Centa Eduardo A. Terrazzan
CE.72	2021	CIFPCN	Discursos de los formadores de profesores de física sobre la Enseñanza de la óptica en la formación inicial	Lorena Alvarado-Guzmán; Roberto Nardi
CE.73	2021	CIFPC	Docentes formadores: valoración de una experiencia de reflexión Sobre la formación inicial	Ana María Guirado, Claudia Alejandra Mazzitelli y María Julieta Laudadio
CE.74	2021	CIFPCN	A trajetória dos formadores do campo da educação química no estado do paraná	Franciellen Rodrigues da Silva Costa. Leila Inês Follmann Freire. Álvaro Lorencini Junior
CE.75	2021	CIFPCN	Produções acadêmicas sobre formação dos formadores de Professores de química no Brasil	Josane do Nascimento Ferreira Cunha. Irene Crista Mello
CE.76	2021	CIFPCN	Professores formadores e a divulgação científica	Diane F. da Silva Dapieve. Marcia Borin da Cunha
CE.77	2021	ENPEC	Terapia Comunitária Integrativa: uma análise sobre a percepção de formadoras em relação ao percurso formativo dos terapeutas comunitários e os recursos educacionais	Lauriane Martins Santana Sheila Soares de Assis Tania Cremomini de Araujo-Jorge
CE.78	2021	ENPEC	Que nos revelam os discursos de professores formadores sobre afetividade e cognição no ensino de Ciências e Matemática nos anos iniciais do Ensino Fundamental	Elizangela da Silva Barboza Ramos

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.79	2021	CIDC	Análisis del conocimiento didáctico del contenido de la biodiversidad y la didáctica en docentes formadores en la provincia de Córdoba, Argentina	María Emilia Ottogalli, Gonzalo Miguel Ángel Bermúdez
CE.80	2021	CIDC	Creencias acerca de la naturaleza de la Ciencia: Un análisis en estudiantes de pedagogía y sus formadores	Diana Abril Milán, Luis Miño González
CE.81	2021	CIDC	A divulgação científica na universidade: Alguns desafios	Diane Ferreira da Silva Dapieve, Marcia Borin da Cunha
CE.82	2021	CIDC	Cómo favorecer el desarrollo profesional docente colaborativo entre didactas de Ciencias y matemáticas	Carlos Vanegas-Ortega Carolina Martínez Galaz Carolina Henríquez Rivas
CE.83	2021	CIDC	Interações pesquisador-professor em um processo formativo reflexivo	Maria Eunice Ribeiro Marcondes, Fabio Luiz de Souza João Batista dos Santos Junior Luciane Hiromi Akahoshi, Miriam Possar do Carmo Naãma Cristina Negri Vaciloto, Terezinha Iolanda Ayres-Pereira
CE.84	2021	CIDC	A visão de professores universitários sobre a influência da ciência e da tecnologia na sociedade	Elisangela Matias Miranda
CE.85	2021	CIDC	Conocimiento didáctico del contenido ambientalizado en la formación inicial del profesor de química en Colombia	Diana Lineth Parga Lozano

ETIQ.	AÑO	EVENTO	TÍTULO	AUTORES
CE.86	2021	CIDC	Desafios da avaliação em educação ambiental na formação continuada de professores: Uma proposta de indicadores	Rosana Louro Ferreira Silva Claudia Abrahão Hamada, Clodoaldo Gomes de Alencar Júnior Melissa da Cruz Botelho
CE.87	2021		La cultura del pensamiento en la enseñanza de Naturaleza de la Ciencia	Vanessa Ortega Quevedo, Cristina Gil Puente
CE.88	2021		Género y Ciencia: Expresiones de las relaciones de poder en la educación científica	Pamela Palomera- Rojas Carolina Martínez- Galaz Maximiliano Montenegro Maggio

Apéndice D – Transcripción del diálogo entre formadores- Grupo de discusión.

Para conocer estos datos, por favor enviar correo electrónico a lisbeth.alvarado@correounivalle.edu.co

Con gusto proporcionaremos la información necesaria.