



Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica docente

Desafíos y acciones frente a la crisis climática

Leonardo Fabio Martínez Pérez



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL
Educadora de educadores

Leonardo Fabio Martínez Pérez

Doctor en Educación en Ciencias por la Universidade Estadual Paulista, de Brasil. Licenciado en Química y magíster en Docencia de la Química, de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (UPN). Fue rector de la Universidad Pedagógica Nacional, presidente del Capítulo Distrito Capital del Sistema Universitario Estatal (SUE) y vicepresidente de este sistema a nivel nacional entre 2018 y 2022. Ejerció como decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPN entre 2016 y 2018 y fungió como coordinador del programa de Licenciatura en Química en 2012 y coordinador de investigación entre 2004 y 2007 de la misma institución.

Profesor de planta del Departamento de Química de la UPN. Fundador del grupo de investigación Alternativas para la enseñanza de las ciencias, Categoría A de Minciencias. Actualmente es investigador sénior. Actúa como docente e investigador de los programas Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Licenciatura en Química, Maestría en Docencia de la Química y del Doctorado Interinstitucional en Educación de la UPN. Fue editor de la revista *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)* de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPN. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en el área de la enseñanza de las ciencias en los temas educación, ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), formación de profesores, cuestiones sociocientíficas y ambientales, la argumentación y la epistemología de las ciencias. También cuenta con producción académica en el campo de la pedagogía crítica y la gestión educativa.

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica docente

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica docente

Desafíos y acciones frente a la crisis climática

Leonardo Fabio Martínez Pérez



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

Martínez Pérez, Leonardo Fabio

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica docente. Desafíos y acciones frente a la crisis climática. / Leonardo. Fabio Martínez Pérez. – Primera edición. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2026.

238 páginas.

Incluye: Índice de figuras

Índice de Tablas

Referencias bibliográficas

1. Historia de la Ciencia 2. Crisis Climática – Aspectos Sociales. 3. Educación Ambiental – América Latina. 4. Recursos Naturales. 5. Ciencias – Aspectos Sociales. 6. Formación Docente 9. Práctica Docente. 10. Estudio de las Ciencias – América Latina. I. Tít.

373.70071 23. edc.

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y
ambientales en la práctica docente.
Desafíos y acciones frente a la crisis climática

AUTOR

Leonardo Fabio Martínez Pérez

© Universidad Pedagógica Nacional

ISBN impreso: 978-628-7851-76-4

ISBN PDF: 978-628-7851-78-8

ISBN ePub: 978-628-7851-77-1

Primera edición, 2026

Helberth Augusto Choachí González
RECTOR

Paola Acosta Sierra
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN,
EXTENSIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Víctor Espinosa Galán
VICERRECTOR ACADÉMICO

Yaneth Romero Coca
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA
Y FINANCIERA

Gina Marcela Duarte Fonseca
SECRETARIA GENERAL

PREPARACIÓN EDITORIAL

Grupo Interno de Trabajo Editorial

Universidad Pedagógica Nacional

Calle 72 # 12-77

editorial.upn.edu.co

Teléfono: (601) 594 1894, ext. 190

Bogotá, Colombia

Alba Lucía Bernal Cerquera

COORDINACIÓN

María Alejandra Uribe C.

EDICIÓN

Pablo Castro Henao

CORRECCIÓN DE ESTILO

Wilson Marulanda Muñoz Salamanca

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Carvajal Soluciones de Comunicaciones S. A. S.

IMPRESIÓN

Bogotá, D. C., 2026

Fechas de evaluación: 29-07-2025/10-09-2025

Fecha de aprobación: 25-06-2025

Hecho el depósito legal que ordena la Ley 44 de
1993 y el decreto reglamentario 460 de 1995.



**UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA
NACIONAL**



Esta publicación puede ser distribuida, copiada y exhibida por terceros si se mencionan los créditos correspondientes. No se puede obtener ningún beneficio comercial. No se pueden realizar obras derivadas.

A la Pachamama, Madre Tierra; al Dios de la vida, que nos da
existencia para luchar por un futuro posible.

Al maestro y educador popular Jorge Posada,
inspirador de mi pensamiento crítico.

A la maestra Clara Chaparro, quien me introdujo en la práctica de
la enseñanza de las ciencias en poblaciones vulnerables de Cazucá.

A la memoria del maestro Royman Pérez Miranda, quien partió
en enero del 2026 y nos dejó un gran legado académico para la
enseñanza de las ciencias en Colombia.

Contenido

Prefacio en español.....	15
Prefácio em português	19
Introducción.....	23
Controversias sociocientíficas en la constitución del campo científico.....	31
Disputas, luchas o pleitos por la legitimidad científica en la emergencia de la química como ciencia.....	49
Polémicas sociocientíficas y ambientales	71
Enseñanza de asuntos sociocientíficos y ambientales (CSCA) en Iberoamérica.....	97
Problemáticas sociocientíficas y ambientales en la práctica docente.....	147
Consideraciones finales	199
Referencias	217
Autor	235

Lista de figuras

Figura 1. Etapas de la evolución histórica de la enseñanza de las ciencias (EC) con enfoque CTSA en contraste con el marco político y normativo del desarrollo histórico de la educación ambiental (EA).....	85
Figura 2. Porcentaje de artículos de revistas 2019-2024.....	115
Figura 3. Distribución de autores de artículos por sexo.....	116
Figura 4. Representación de categorías emergentes híbridas	119
Figura 5. Porcentaje de aparición en categorías teóricas y emergentes híbridas	121
Figura 6. Elementos estructurales para el abordaje de las CSCA en la práctica docente.....	159
Figura 7. Representación de elementos estructurales para la práctica docente investigativa en el abordaje de las CSCA.....	165
Figura 8. Representación de dimensiones didácticas para abordar las CSCA	167

Lista de tablas

Tabla 1. Revistas seleccionadas de Iberoamérica para la construcción de estado del arte sobre el abordaje de las CSCA en la enseñanza de las ciencias	103
Tabla 2. Revistas y número de artículos revisados y seleccionados	107
Tabla 3. Codificación de revistas seleccionadas	110
Tabla 4. Tendencias encontradas en torno al abordaje de las CSC en Latinoamérica en el periodo 2000-2017.....	111
Tabla 5. Categorías propuestas por Torres <i>et al.</i> (2023)	112
Tabla 6. Categorías y descriptores de análisis consolidados	113
Tabla 7. Número de artículos caracterizados por tipología 2019-2024	114
Tabla 8. Frecuencia de artículos caracterizados por categorías teóricas	118
Tabla 9. Frecuencia de artículos caracterizados por categorías emergentes híbridas	120
Tabla 10. Clasificación del abordaje de controversias tratadas en la formación inicial de profesores de ciencias de acuerdo con el predominio sociocientífico o ambiental	130
Tabla 11. Clasificación del abordaje de controversias tratadas en la formación continua de profesores de ciencias de acuerdo con el predominio sociocientífico o ambiental.....	140

Agradecimientos

Expreso mi gratitud al Consejo Académico del segundo semestre de 2023 de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual reconoció el derecho que me asistía como profesor de planta de la universidad de contar con un año sabático para la elaboración de esta obra. Esta máxima instancia académica invitó a reconsiderar la injusta forma de proceder del Consejo de la Facultad de Ciencia y Tecnología, que en un primer momento desconoció mi derecho. Agradezco al Consejo Superior de esta misma época por conceder este tiempo valioso para dedicarme al estudio y escritura de estas gruesas líneas que reafirman el compromiso pedagógico y político con la defensa de todas las formas de vida del planeta. Infinitas gracias a Diana, Paulo y Antoine, quienes me apoyaron en todo momento y representan la esencia de mi existencia. A mis padres, por la vida; a mi familia querida, amigos y amigas por todo el apoyo y cariño.

Prefacio en español

En esta obra, Leonardo Fabio Martínez Pérez, profesor titular de la Universidad Pedagógica Nacional, comparte su amplia experiencia y experticia orientada a la formación de profesores para ofrecernos reflexiones acerca del abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales relacionadas con la práctica docente, a través de la discusión de desafíos y acciones frente a la crisis climática.

Inmersos en el contexto actual que nos depara el uso exacerbado de “recursos naturales” sin el respectivo cuidado del planeta, presenta diversos y complejos desafíos. Es oportuno y urgente discutir, en el contexto educativo de la enseñanza de las ciencias, los cambios climáticos que impactan las poblaciones en diferentes países, evidentes con devastadoras inundaciones y el aumento significativo de la temperatura global. El profesor Leonardo alerta sobre el necesario análisis de tales alteraciones con la promoción de reflexiones que sustenten el desarrollo de acciones sociopolíticas sobre la crisis climática en el amplio universo de la práctica docente.

El abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) es el tema escogido por el autor para instigar posturas reflexivas, posturas divergentes acerca de asuntos públicos de ciencia, tecnología y ambiente, constituidas por medio del diálogo y del respeto a la pluralidad de ideas

y argumentos tanto en el aula como en la formación inicial y continua de profesores.

Son relevantes los apuntamientos del autor cuando analiza la institucionalización de la ciencia y la tecnología en la era del capitalismo como una nueva fuerza productiva que categóricamente genera miles de mercancías que apoyan el hiperconsumo y contribuyen con la destrucción del planeta, esto desvelado a partir de la teoría crítica. De esta forma, nos muestra su sensibilidad y preocupación por la Madre Tierra al enfatizar la crisis de la modernidad, que desconsidera otros sistemas de conocimiento, como los indígenas y afrodescendientes, pertenecientes a la cultura de los pueblos del sur global. En este horizonte, la obra pretende contribuir a los estudios iberoamericanos sobre la CSCA en la formación docente y el enfrentamiento de la crisis climática, impulsando una educación científica crítica y comprometida con la formación ciudadana.

El lenguaje claro y fluido de la obra permite a los lectores(as) un viaje rico en ideas y cuestionamientos, que se complementan al final de cada capítulo con una invitación a “seguir pensando” a partir de análisis de lecturas cortas, las cuales conectan los elementos conceptuales tratados en el capítulo y situaciones prácticas relacionadas con controversias sociocientíficas y ambientales. A continuación, destaco ideas centrales tratadas en los cinco capítulos, con el ánimo de invitarles a disfrutar la lectura global de la obra.

En el primer capítulo, el autor establece una discusión teórica sobre la controversia sociocientífica con base en aspectos históricos, filosóficos y sociológicos, optando por una fundamentación crítica de la ciencia, rescatando análisis de algunos casos históricos de la ciencia; por ejemplo, hace referencia a la comprensión continua y discontinua de la materia. Posteriormente, amplía el análisis a otros casos que dan cuenta del carácter paradójico del progreso científico y tecnológico. Al tiempo, estudia los efectos positivos del emprendimiento científico para la humanidad y la naturaleza, así como los graves impactos ambientales que se fundamentan

en estudios realizados por el grupo de investigación Alternativas para la Enseñanza de las Ciencias (Alternaciencias), fundado por el profesor Leonardo Martínez.

En el segundo capítulo, la discusión está centrada en el análisis de la historia de la ciencia, reconociendo el carácter dinámico de la producción científica y enfatizando que el contexto en el cual los científicos viven influye tajantemente en sus vidas, idearios políticos e ideológicos. Se describen sucesos históricos de científicos, por medio de la exposición de sus creaciones y teorías en el amplio panorama de la ciencia, para visibilizar el crédito de sus invenciones. El nacimiento de la química como campo científico refleja claramente que las controversias en la historia de la ciencia son esenciales para la emergencia y posteriores luchas en la búsqueda de su legitimidad por la autoridad científica, ya que el prestigio de una nueva teoría se consolida con apoyo de otros científicos. La teoría del flogisto y la teoría de Lavoisier sobre la formación de ácidos son algunos ejemplos de los casos explorados en la obra.

En el tercer capítulo, se analiza la manera en que la racionalidad técnica está embebida en una concepción positivista de la ciencia y hace parte del origen de la crisis ambiental. Se destaca la visión profunda del ser humano con la naturaleza, con el ánimo de destacar que la instrumentalización de la razón científica está directamente relacionada con el progreso social y el crecimiento económico capitalista, que está en la base de la crisis civilizatoria de Occidente.

También se debate el uso de pesticidas en la agricultura, entendido como una cuestión sociocientífica y ambiental (CSCA). En este sentido, se analiza la obra *Primavera silenciosa*, de Rachel Carson, bióloga que explica en su libro los efectos nocivos del uso excesivo de pesticidas, como el DDT (diclorodifeniltricloroetano). La autora describe cómo la intervención del ser humano altera dramáticamente los procesos naturales a través de la contaminación del suelo, del aire y del agua. La controversia que envuelve el uso de pesticidas

se extiende hasta nuestros días e influye en las recomendaciones y orientaciones de miembros de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La enseñanza de cuestiones sociocientíficas y ambientales en Iberoamérica, especialmente para repensar la formación de profesores vinculados a los aportes de la educación ambiental se analiza en el cuarto capítulo. Para esto se presenta un estado del arte sobre investigaciones, sistematización de experiencias y ensayos publicados entre 2019 y 2024 en revistas especializadas y bases de datos. El autor logra estudiar las principales tendencias de investigación sobre el abordaje de las CSCA en la enseñanza de las ciencias para el caso Iberoamericano.

En el quinto capítulo, el autor se refiere al abordaje de las CSCA como una categoría relevante para la enseñanza de las ciencias, una vez que considera aspectos históricos, filosóficos y sociológicos para comprender los problemas ambientales que enfrenta la sociedad. Presenta elementos estructurales de este abordaje en la práctica docente y compila algunas experiencias de profesores de diferentes instituciones educativas de Bogotá que trabajan en esta perspectiva. Adicionalmente, son explorados aspectos metodológicos y dimensiones didácticas para el abordaje de las CSCA para enfrentar la crisis climática, de tal manera que se enfatiza en problematizarla para concretar decisiones sociopolíticas de exigibilidad a los gobernantes, en términos de propiciar un cambio estructural del modelo de desarrollo existente tanto en el ámbito local como planetario.

De acuerdo con lo expuesto a lo largo de este prefacio, invito a todos y todas a realizar una lectura comprometida y dialógica con la obra, ya que nos puede inspirar en las trincheras de la práctica docente, la promoción de una enseñanza de las ciencias pautada por el compromiso ético y en la construcción de una sociedad más democrática y comprometida con la salud de nuestro planeta.

Dra. Josivânia Marisa Dantas

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brasil

Prefácio em português

Nesta obra, o autor Leonardo Fabio Martinez Pérez, professor titular da Universidade Pedagógica Nacional (UPN), dispõe de sua magistral experiência e expertise voltadas à formação de professores notadamente alinhadas com a temática desenvolvida no livro, para nos brindar com reflexões sobre a abordagem de questões sociocientíficas e ambientais relacionadas à prática docente, aventando acerca de desafios e ações frente a crise climática.

Imersos neste cenário contemporâneo, onde nos deparamos com o uso substancial pelo ser humano dos recursos naturais sem o devido cuidado com o planeta Terra, apresentam-se desafios diversos, demasiado complexos. É oportuno e urgente discutir no contexto educacional do Ensino de Ciências, sobre alterações climáticas que têm assolado populações em vários países com devastadoras enchentes e o aumento considerável da temperatura do planeta. O autor alerta para uma necessidade vital de se discorrer sobre tais alterações, promovendo reflexões para o desenvolvimento de ações sociopolíticas acerca da crise climática no universo da prática docente.

A abordagem de Questões Sociocientíficas e Ambientais (QSCA) é então a escolha do autor nesta obra, para incitar em sala de aula, no contexto da formação inicial e continuada de professores, posturas reflexivas, pontos

de vista divergentes acerca de assuntos públicos da ciência, tecnologia e ambiente, construídas por meio do diálogo e do respeito à pluralidade de ideias e argumentos.

É muito oportuna a sinalização trazida pelo autor quando descreve que a teoria crítica demonstrou claramente que a institucionalização social da ciência e a tecnologia na era do capitalismo se constituiu uma nova força produtiva que contribui categoricamente à geração de milhares de mercadorias que apoiam o hiperconsumo global e que contribuem com a degradação e destruição do planeta. Assim, oferece sua sensibilidade e preocupação primeira com a “Mãe Terra”, enfatizando a crise da modernidade, que desconsidera outros sistemas de conhecimento como os indígenas e afrodescendentes que fazem parte da cultura dos povos do sul global. Neste horizonte, a obra pretende contribuir para avançar com estudos na Iberoamérica que trazem proposições acerca da abordagem de QSCA na formação docente e os enfrentamentos frente a crise climática, sinalizando uma necessária educação científica crítica e comprometida com a formação cidadã.

O livro exibe um texto fluído que possibilita a leitores e leitoras um passeio rico em ideias e questionamentos, e ao final de cada capítulo, o autor convoca o leitor “a seguir pensando” propondo análises a partir de leituras sucintas entre os elementos conceituais aventados no capítulo ou situações práticas relacionadas às controvérsias sociocientíficas e ambientais. Algumas das principais ideias estão distribuídas nos cinco capítulos que são apresentados abaixo, convidando ao deleite da leitura do texto.

No capítulo primeiro o autor faz teorizações acerca da controvérsia sob ângulos históricos, filosóficos e sociológicos, optando por uma fundamentação crítica da ciência e partir de um resgate, analisa controvérsias tratando alguns casos históricos da ciência, a título de exemplo, a própria constituição da matéria. Em seguida, estende essas ideias e promove uma reflexão sobre alguns casos que ilustram o caráter paradoxal do progresso

científico e tecnológico. Analisar os efeitos positivos para a humanidade e a natureza, assim como os graves impactos ambientais tem sido objeto de investigação no grupo de pesquisa Alternativas para o Ensino de Ciências (Alternaciencias), o qual foi fundado pelo professor Leonardo Martinez.

No capítulo segundo, a discussão está centrada na análise da história da ciência, reconhecendo o caráter dinâmico da produção científica, enfatizando que o contexto no qual os cientistas vivem influenciam, sobremaneira, suas vidas, ideais políticos e ideológicos. São descritos feitos dos cientistas cronologicamente, enfatizando suas criações/teorias no universo científico e as defesas de créditos de suas invenções. O nascimento da química como campo científico reflete claramente que as controvérsias na história da ciência são essenciais para a emergência e posterior luta por sua legitimidade de autoridade científica, pois o prestígio de uma nova teoria se consolida com apoio de outros cientistas. A teoria do Flogisto e a teoria de Lavoisier sobre a formação dos ácidos são alguns dos exemplos explorados no texto.

No capítulo terceiro, se analisa como a racionalidade técnica é comum na concepção positivista da ciência e a origem da crise ambiental. Destaca-se, portanto, a visão do autor sobre a referida crise, sinalizando que esta se caracteriza por uma ruptura profunda do ser humano com a natureza, enfatizando que a instrumentalização da razão científica está diretamente relacionada com o progresso social e crescimento econômico capitalista, que está na base da crise civilizatória do ocidente.

Discorre também sobre o uso de pesticidas na agricultura, como uma QSCA. Neste horizonte, menciona a obra “Primavera Silenciosa” da Rachel Carson, bióloga que explica em seu livro os efeitos nocivos do uso excessivo de pesticidas, tal como o DDT (diclorodifeniltricloroetano). A autora descreve também como a intervenção do ser humano altera dramaticamente os processos naturais através da contaminação do solo, do ar e da água. A controvérsia envolvendo o uso de pesticidas se estende até os

dias atuais e influencia recomendações e orientações até de membros da Organização Mundial da Saúde.

O Ensino de questões sociocientíficas e ambientais na Iberoamérica, especialmente para repensar a formação de professores vinculando aos aportes da educação ambiental, é exibido no capítulo quarto. Para tanto, apresenta um estado da arte sobre investigações, sistematização de experiências e ensaios publicados nos anos de 2019 a 2024 em revistas especializadas e bases de dados de âmbito Iberoamericano. Para o autor, o intuito foi estudar as principais tendências de investigação sobre a abordagem de QSCA no Ensino de Ciências.

No capítulo quinto o autor se refere à abordagem de QSCA enquanto uma categoria relevante para o Ensino de Ciências, uma vez que considera aspectos históricos, filosóficos e sociológicos para se entender grande parte dos problemas ambientais que a sociedade hoje enfrenta. Apresenta elementos estruturais para abordagem de QSCA na prática docente e compila algumas experiências de professores de diferentes instituições educativas de Bogotá que trabalharam nesta perspectiva. Aspectos metodológicos e dimensões didáticas para a abordagem de QSCA são explorados e a problematização da crise climática é amplamente discutida. Ações políticas para o enfrentamento da crise climática são reverberadas e o autor enfatiza que tal problematização nos conduz a tomar decisões sociopolíticas que exija dos governantes uma mudança estrutural de modelo de desenvolvimento tanto em âmbito local quanto planetário.

Em face do exposto, convido a todos e todas à leitura em engajamento nesse diálogo que o livro oferece, certa do quanto pode nos inspirar, nas trincheiras da prática docente, à promoção de um Ensino de Ciências pautado no compromisso ético e na edificação de uma sociedade mais democrática e comprometida com a saúde do nosso planeta.

Dra. Josivânia Marisa Dantas

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brasil

Introducción

Comprender el significado de la educación y la enseñanza de las ciencias constituye un punto de partida para esbozar el análisis que presenta este libro acerca del abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) en la práctica docente de profesores(as) en ejercicio y en formación inicial. Gran parte de estos profesionales ejercen en la educación básica, secundaria y media, de tal forma que, además del objetivo encaminado a los(as) educadores(as), se busca contribuir con la formación en ciencias y la educación ambiental para estos niveles educativos.

En la educación en ciencias nos preguntamos el porqué, para qué y para quién de la formación en ciencias en diversos contextos culturales y escenarios educativos formales y no formales; así, la preocupación está centrada en el panorama que fundamenta la enseñanza como práctica reflexiva y crítica. Pensar el horizonte de sentido de la enseñanza de las ciencias constituye una amplia preocupación de este campo educativo para analizar el papel de la cultura científica en nuestra sociedad, la forma como se representa y circula en los medios de comunicación, plataformas digitales y redes sociales, así como la apropiación social de esta por parte de los ciudadanos y las ciudadanas.

Enseñar ciencias es importante porque posibilita el acceso de todos y todas a la cultura científica producida por la humanidad, y no solo por Occidente. A partir de esta se pueden estructurar puntos de vistas sustentados e informados para la participación ciudadana en múltiples escenarios de acción política que demanden la construcción de una sociedad basada en principios éticos de justicia social y ambiental.

Sin embargo, la enseñanza de las ciencias se ha construido históricamente siguiendo una tradición occidental anglosajona y europea, la cual establece como punto de referencia las ciencias de la naturaleza, la reflexión histórica, epistemológica y sociológica sobre esta, que permite construir una comprensión del conocimiento científico como proceso racional de su propia cultura. La perspectiva en mención también haría parte de la crisis de la modernidad —a saber: la propia crisis de Occidente—, el aprieto del pensamiento universal eurocéntrico que desconoció por siglos otros sistemas de conocimientos, como los indígenas y los afrodescendientes, que hacen parte, en gran medida, de la cultura de los pueblos del sur global.

En estos tiempos de crisis socioambiental irrumpe con esperanza, y como alternativa desde Latinoamérica —o mejor, desde Abya Yala—, otra concepción para la enseñanza de las ciencias en diálogo con la educación ambiental. Ella configura una perspectiva de investigación y formación que reconoce la construcción de conocimiento como un proceso mediado por tensiones, disputas, resistencias y diálogo de saberes.

La diversidad de los actores que conforman los campos de la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental exponen disputas epistemológicas y metodológicas históricamente. Por ejemplo, aquellos provenientes de áreas disciplinares que hacen énfasis en la enseñanza y aprendizaje de conceptos y teorías científicas, algunas veces sin contextualización alguna, y con sesgos políticos de la supuesta neutralidad que debe promover el profesor o profesora. Por su parte, los(as) educadores(as) o profesores(as) tienden a defender el horizonte de sentido del campo en la formación de

sujetos; su acción es políticamente comprometida porque busca aportar al levantamiento de una sociedad justa, a través de la contribución al abordaje contextualizado de las ciencias enmarcado en un análisis transdisciplinario y pluridiverso.

Como parte de la construcción de estos campos de conocimiento, y en respuesta a las crisis que enfrentamos, en este libro se realiza el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) en la práctica docente como una propuesta de enseñanza alternativa que piensa el desarrollo de la ciencia desde un punto de vista crítico y transversal para la necesaria superación de dualismos históricamente elaborados en la racionalidad occidental: internalismo versus externalismo, objetividad versus subjetividad, razón versus emoción, sociedad versus naturaleza.

Las CSCA constituyen asuntos de interés público que abarcan diferencias significativas de opinión entre actores o agentes sociales de acuerdo con sus intereses. Las divergencias entre estos actores necesariamente tratan sobre el papel de la ciencia y la tecnología en la crisis socioambiental que enfrenta la humanidad y que pone en peligro la existencia de todas las formas de vida en el planeta. El abordaje de estas cuestiones en la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental implica el análisis sobre problemas o conflictos socioambientales y disputas mediadas por relaciones de poder y por determinados valores divergentes frente al capitalismo y su impacto ambiental. Esta forma de entender las CSCA va más allá de la denominación inglesa *Socioscientific Issues* (SSI), que centra la atención en aproximarse a controversias centradas en la ciencia para favorecer la formación ciudadana, el razonamiento lógico y moral, sin que siempre se trate la crisis ambiental.

La comprensión sobre las CSCA expuesta en este texto articula los aportes de la enseñanza sobre el análisis crítico de la ciencia y la tecnología en la modernidad y los desarrollos de la educación ambiental, que propone un análisis crítico de conflictos ambientales propios del contexto

latinoamericano, por medio de la articulación de aportes de autores como Canciani y Telías (2013) e Iribarren *et al.* (2022). Estos referentes proponen la reflexión educativa crítica de problemáticas ambientales vinculadas a los procesos de movilización social que desarrollan las comunidades en pro de la protección y cuidado de la naturaleza y sus territorios, como respuesta a la crisis ambiental.

La educación en ciencias y la educación ambiental crítica rescatan la razón emancipatoria de la modernidad, al tiempo que la complejiza desde la epistemología ambiental. En ellas se problematizan las ideas de *progreso y desarrollo* impuestas por la hegemonía del capitalismo que sofisticó su lógica extractivista y depredadora en complicidad con la Revolución Industrial.

El cuadro teórico en mención analiza la controversia, que pasa por estudiar un caso histórico de la ciencia —este es la emergencia de la química como campo científico—, para luego discutir los impactos de esta ciencia en la producción de pesticidas letales, como el dicloro difenil tricloroetano (DDT), cuya implementación a gran escala en la agricultura fue desvelada por Rachel Carson, con lo cual sentó las bases del movimiento ambientalista y rescató el papel ético de la ciencia que contribuye con una comprensión compleja de los equilibrios ecológicos del planeta y su respectiva conservación.

Esta obra es construida a partir de una investigación documental, que sigue dos procesos analíticos. El primero corresponde al estudio histórico de fuentes primarias sobre el origen de conceptos científicos en el caso de la química, para ello se analizan trabajos sobre la discontinuidad y continuidad de la materia con el propósito de evidenciar la controversia como un fenómeno de larga data reportado por la historia de la ciencia, tal como se trata en el primer capítulo. Se ofrece un análisis histórico específico de la emergencia de la química en los siglos XVII y XVIII, basando el estudio en los planteamientos de Pierre Bourdieu sobre campo científico. En este

sentido, se analizan los procesos de constitución de autoridad y legitimidad científica representada en cuatro grandes concepciones: la primera, representada por la herencia griega de los elementos químicos; la segunda, correspondiente a la alquimia; la tercera, correspondiente al flogisto, y la cuarta, concerniente a la teoría de la oxidación que, junto con los estudios de la química neumática, marcaron el origen de la química moderna. El análisis histórico apunta aspectos relevantes del contexto sociopolítico de la época que influyó notablemente en las controversias desencadenadas entre los científicos y otros actores sociales.

El segundo proceso analítico documental consistió en un estudio sistemático bibliométrico de revistas académicas de la educación en ciencias publicadas en los últimos cinco años en el ámbito iberoamericano, en el cual se establecieron criterios claros para la revisión y selección de artículos de investigación, casos educativos y reflexión sobre abordaje de las CSCA. A partir de este análisis se compone el cuarto capítulo en el que se presentan las principales tendencias de trabajo en el abordaje de estas cuestiones sociocientíficas y ambientales. En consideración de los dos procesos analíticos se fundamenta la escritura del quinto y último capítulo, que consigna la propuesta concreta para tratar las CSCA en la práctica del profesor, discutiendo las controversias adyacentes a la crisis climática y su abordaje en la educación en ciencias.

Además de la necesaria reflexión teórica y práctica sobre las CSCA, se invita al lector a sumergirse en la investigación llevada a cabo en los últimos cinco años en Iberoamérica sobre este abordaje para desvelar tendencias, desafíos y perspectiva de trabajo, especialmente, para repensar y transformar la formación de profesores(as) en ejercicio y en formación inicial, vinculando los aportes de la educación ambiental. Asimismo, al considerar el conocimiento como un bien común y no como un bien material que se comercializa y por el que hay que pagar, se invita al lector a realizar sus propias búsquedas, de tal manera que enriquezca su comprensión sobre

los avances de la investigación didáctica desde los propios desarrollos alcanzados en Latinoamérica.

Se propone la epistemología crítica y compleja, la sustentabilidad y justicia ambiental, la alfabetización crítica y la acción sociopolítica como elementos estructurales de la aproximación a las CSCA que se recomienda estudiar en colectivos de profesores(as) o educadores(as), orientando la enseñanza por el principio de investigación sobre la práctica, a partir de la acción-reflexión, reflexión-acción inspirada en los aportes pedagógicos de Paulo Freire.

Por último, se propone el abordaje de la crisis climática como las CSCA, que va más allá de la idea ampliamente conocida con el nombre de *cambio climático*, en alusión al aumento en el promedio global de la temperatura debido a la actividad antrópica, para dar paso a un amplio análisis de los diferentes agentes sociales involucrados en la controversia: los científicos, los gobiernos y los pueblos especialmente periféricos de América Latina que, junto con los de África y algunos de Asia, experimentará con mayor severidad los impactos del calentamiento global que amenazan el futuro de todas las formas de vida, incluyendo la humana.

La crisis climática fue tratada desde un punto de vista histórico y didáctico por Gallego y Gallego (2009) como un tema importante que debe discutirse en las aulas del sistema educativo colombiano. Estos autores invitan a profesores e investigadores a trabajar unidos en la construcción de estrategias de enseñanza para la concientización del problema, lo cual es tratado en este libro.

El abordaje de las CSCA contribuye con la formación ciudadana crítica de estudiantes y educandos, a través de una comprensión amplia y contextualizada de la ciencia, identificando los avances contemporáneos de las investigaciones, los riesgos, límites y posibilidades para el cuidado y respetos de todas las formas de vida. Ofrece espacios formativos sobre controversias sociales asociadas a temas de investigación científica y a saberes

populares que provocan grandes polémicas éticas, políticas y ambientales, por ejemplo, la inteligencia artificial, la crisis climática, la clonación, el diagnóstico genético preimplantacional, la modificación genética de organismos, el desarrollo de energías alternativas, la minería, las causas y consecuencias de la covid-19; cuestiones de gran impacto que pueden estudiarse en escenarios escolares y extraescolares.

A su vez, la aplicación de las CSCA en la enseñanza de las ciencias contribuye con el mejoramiento de los procesos formativos del estudiante, a partir del análisis de controversias que son parte de su vida. Sin embargo, en el ámbito latinoamericano hay pocos libros que sistematicen los aportes de la investigación del abordaje de estas cuestiones en la enseñanza y constituyan un material de consulta actualizado para los(as) profesores de ciencias y educadores(as) que laboran en la educación básica secundaria y media, orientando el área de ciencias naturales (física, química y biología) y la educación ambiental.

Con el objetivo de aportar a la producción académica que pueda constituirse en un referente importante para fortalecer la formación inicial y continuada de profesores de ciencias se propuso este libro, derivado de una sistemática investigación documental, como un material de estudio para profesores(as) en ejercicio, futuros profesores(as) de ciencias, educadores(as), investigadores, y personas interesadas en pensar las complejas controversias sociocientíficas y ambientales.

En este proceso intelectual de pensar el abordaje de las CSCA en la práctica docente emerge la necesaria renovación de la perspectiva crítica desde la teoría decolonial que ofrece como alternativa al pensamiento hegemónico occidental un nuevo proyecto político, económico, social, cultural y ambiental denominado *transmodernidad*, que rompe el silencio de los excluidos para empoderar sus voces y busca la liberación a través de resistencias y acciones sociopolíticas esperanzadoras y contrarias al ineluctable extractivismo del capitalismo salvaje.

Al final de cada uno de los capítulos se propone la actividad formativa “para seguir pensando”, en la cual se invita al lector a realizar análisis y propuestas a partir de sucintas lecturas que favorecen la articulación entre los elementos conceptuales tratados en el capítulo y otras controversias o situaciones prácticas orientadas hacia lo sociocientífico y ambiental. De esta forma, se deja abierto el estudio y las posibilidades del abordaje de las CSCA en la práctica docente.

Controversias sociocientíficas en la constitución del campo científico

Las controversias son polémicas, debates, disputas, contrapunteos o discusiones de opiniones diferentes sobre un asunto en particular. Están presentes en el día a día de todos los seres humanos en el sentido amplio de la palabra, pues todos y todas razonamos y sentimos diferente. Esa diversidad humana frente a lo que nos gusta, lo que hacemos y lo que pensamos hace que en algunas ocasiones tengamos disentimientos con los otros, entremos en oposiciones que, en muchos casos, logramos resolver y así garantizamos la convivencia. La diversidad humana constituye el punto central para expresar la diferencia de opinión y los criterios adoptados para tomar decisiones individuales y colectivas. En todos los casos, se basa en la otredad, es decir, en la capacidad de dialogar, interactuar y reconocer al otro como un interlocutor válido para aprender sobre la vida.

Las anteriores reflexiones son una aproximación inicial al significado de la controversia, lo cual es importante para que los(as) profesores(as), educadores(as) de ciencias, así como los ciudadanos y ciudadanas interesados en esta rama de la educación —pues el presente texto está sustentado desde la educación en ciencias y no desde la educación general— consideren que pueden construir su propia comprensión sobre el tema, ya que

hace parte de la propia naturaleza humana. Ahora bien, de acuerdo con el propósito de este libro centraremos la atención en las controversias o cuestiones sociocientíficas y ambientales, que también abarcan discusiones, debates, diferencias de opinión, puntos de vista divergentes alrededor de asuntos públicos de ciencia, tecnología y ambiente.

La controversia en la ciencia no es un asunto nuevo o una moda que se esté transponiendo a la enseñanza, constituye una situación que puede explorarse desde variadas áreas del conocimiento por diferentes autores de acuerdo con su perfil e interés profesional. Es posible pensar el asunto desde la propia ciencia (química, física, biología, ciencias de la tierra), y según profesionales que se han interesado por aspectos históricos y filosóficos de estas. También se puede discutir desde el propio punto de vista de filósofos, historiadores y sociólogos de la ciencia o desde el punto de vista político, económico y ambiental. En el caso puntual de la enseñanza de las ciencias es muy importante considerar los aportes de las áreas mencionadas, debido a que el conocimiento didáctico es interdisciplinar para dar cuenta de sus propios problemas sobre la formación, los currículos, estrategias, políticas y otros aspectos de interés.

Realizaré una discusión de la controversia desde aristas históricas, filosóficas y sociológicas, optando por una fundamentación crítica de la ciencia, a través de la articulación de aportes de la Escuela de Frankfurt y la sociología transversal construida a partir de la concepción sociológica de Pierre Bourdieu. Este cuadro teórico es un punto de referencia para los lectores de este libro, al tiempo que propone una invitación a construir análisis particulares de controversias históricas propias de nuestro contexto, caminando hacia lugares más amplios que el abordaje de casos históricos situados exclusivamente en la lógica interna de las disciplinas científicas.

El carácter paradójico del progreso científico

La teoría crítica sobre el progreso científico y tecnológico fue tratada en Martínez (2012), haciendo referencia al análisis de la institucionalización de la ciencia y tecnología (C&T) en la sociedad moderna capitalista, que apropió los avances científicos para producir miles de mercancías e instaurar una nueva fuerza productiva basada en intereses tecnicistas y mercantilistas. El análisis en mención fue elaborado con base en los fundamentos de la Escuela de Frankfurt, y en atención a los planteamientos de Adorno (1972) y Habermas (1987; 2006). La crítica que se hace en este estudio refiere a la instrumentalización de la ciencia por intereses privados y antiéticos, no a la ciencia misma, pues ella también se ha orientado a generar conocimiento en favor del bienestar humano y la protección de la naturaleza.

Las controversias sociocientíficas se pueden analizar críticamente alertando el carácter paradójico del progreso científico. Por una parte, este último ha contribuido con investigación de base que fundamenta la producción de medicamentos y el tratamiento efectivo de enfermedades que en el pasado generaban alta mortalidad en la población y que hoy ha aumentado la expectativa de vida; por otra parte, exige mayor atención médica debido al crecimiento de enfermedades por la edad. Hambleton *et al.* (2023) estudian el envejecimiento y crecimiento poblacional en el continente americano entre 2000 y 2020. En su publicación evidencian que la población creció en 1 %, y el envejecimiento en toda la región es similar, por lo que se identifica el aumento en la proporción de personas de 70 años entre 2,2 y 3,9 puntos. Esto significa que las personas ahora viven más tiempo; sin embargo, la preocupación se trasladó a continuar tratando el aumento de enfermedades debido a la alta edad.

También podríamos citar la importancia de la ciencia para la producción de alimentos a nivel mundial, aunque el uso de fertilizantes y pesticidas ha generado grandes afectaciones ambientales. Paradójicamente, la

tecnología desarrollada en la industria militar para las comunicaciones con la invención del *Global Positioning System* (GPS) sirve para generar destrucción y muerte en las guerras; no obstante, el invento revolucionó el transporte de pasajeros y cargas en las grandes ciudades, así mismo, es usado para proyectos ambientales de protección y conservación de la naturaleza.

La energía nuclear puede emplearse como alternativa al uso de hidrocarburos fósiles, empero fue empleada para fabricar armas nucleares descargadas en Nagasaki e Hiroshima, causando la muerte de más de 180 000 personas, además de los accidentes nucleares en varias partes del mundo que generan muertes y grave contaminación ambiental.

Existen muchos casos para ilustrar el carácter paradójico del progreso científico y tecnológico. Analizar cuidadosamente los efectos positivos para la humanidad y la naturaleza, así como los graves impactos ambientales constituye un punto central de la reflexión que proponemos realizar en la línea enseñanza de las ciencias con enfoque en ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) de nuestro grupo de investigación Alternativas para la enseñanza de las ciencias (Alternaciencias) y que toman como referente la teoría crítica.

De acuerdo con la teoría crítica, la pretensión de la sociedad capitalista de sustentar su existencia con la democracia se diluye rápidamente en los procesos tecnocráticos, como es considerada la C&T por parte de los distintos gobiernos que administran el Estado. Las decisiones políticas que afectan a todos los ciudadanos y las ciudadanas se sustentan en los conceptos exclusivos de los especialistas, desconsiderando o colocando poca importancia a la participación ciudadana, la cual se busca para ejercicios en gran parte consultivos, pero no decisorios. Esta racionalidad tecnocrática sustenta en gran parte la agenda de las políticas científicas y tecnológicas de los gobiernos. Además, el uso de la C&T en la sociedad capitalista privilegia la ideología del cientificismo, al pretender establecer

estos conocimientos como centrales, verdaderos y neutrales. En seguida, se amplía el análisis de la controversia tratando algunos casos históricos en la ciencia.

Controversias sobre la constitución de la materia

En 1986, bajo el liderazgo del profesor José Luis Villaveces, nació el grupo de química teórica en la Universidad Nacional de Colombia (Cubillos *et al.*, 1989), el cual desarrolló varios trabajos sobre historia y epistemología de la química. Aunque los integrantes no procedían de una tradición neta de historiadores o filósofos de la ciencia discutieron la constitución de conceptos y teorías científicas a lo largo de la historia.

Según Cubillos (2003) en la Grecia antigua existió la discusión sobre la constitución, origen y cambios en la materia. Por un lado, la tradición idealista atada a la mitología constituía un pilar esencial para esta sociedad, que hasta ahora tiene influencia importante en las humanidades; por otro lado, los filósofos materialistas establecieron nociones precientíficas importantes sobre la estructura corpuscular de la materia.

La controversia sobre la constitución de la materia en la Grecia antigua puede ejemplificarse entre aquellos que se aventuraron a pensar sobre las preguntas: ¿de qué están hechas las cosas?, ¿de dónde provienen? Algunas respuestas se elaboraron por filósofos jónicos, como Tales de Mileto, quien consideraba que el principio de todo era el agua; a partir de este elemento, por diversos procesos, como la sedimentación, se forma la tierra y otros materiales. Estas ideas fueron cuestionadas por sus propios coterráneos, como Anaximandro, quien consideraba que ese elemento por sus características no podría dar origen a toda la diversidad de cosas existentes; él propuso, en lugar de ello, a la entidad *apeirón*, considerada como lo indeterminado, es decir, aquello desprovisto de toda cualidad que podamos percibir.

Anaxímenes participó de la controversia proponiendo la niebla o el aire como principio esencial que, por rarefacción, daría origen al fuego; por condensación, al agua y, luego, a la tierra. Por su parte, Heráclito consideró que el principio de todas las cosas era el fuego. Aunque existían algunas diferencias entre estos filósofos, sus planteamientos fueron coincidiendo, hasta el punto que Empédocles realizó la síntesis de una concepción continuista sobre la materia, al sustentar que todas las cosas que nos rodean están constituidas por cuatro elementos fundamentales: agua, aire, fuego y tierra. La controversia sobre la constitución de la materia en la Grecia antigua prosiguió por parte de otros filósofos, como Leucipo y Demócrito, quienes elaboraron un punto de vista discontinuo o corpuscular de la materia, al señalar que todas las cosas que nos rodean estarían constituidas por pequeñas entidades indivisibles que se moverían constantemente.

En la concepción discontinua de estos filósofos subyacía otro elemento importante que fue objeto de discusión por siglos, y consistía en aceptar la noción de *vacío*. Martins (1989) analiza el problema históricamente indicando que Heron de Alexandria fue, quizás, el autor que más defendió la existencia del vacío frente a la concepción Aristotélica que sustentaba tanto la concepción continua de la materia como la inexistencia del vacío. Por cierto, esta última concepción se impuso por siglos hasta pasada la edad media, según la historia occidental. La negación del vacío, incluso, fue defendida por filósofos racionalistas del siglo XVII, tales fueron los casos de Descartes y Francis Bacon, el propio padre de la concepción empirista e inductivista de la ciencia moderna también la defendió.

Bensaude-Vincent y Stengers (1997) plantean que fue necesario redescubrir en 1417 el trabajo poético de Lucrecio: *De Rerum Natura*, para volver a pensar en la concepción discontinua de la materia que sustentaría el origen de las primeras teorías atómicas. Según Cubillos (2003) algunos apartados de los libros I y II de la obra de Lucrecio constituyen la evidencia más clara de la teoría corpuscular y del vacío que, para el caso de la química, son esenciales para luego entender la constitución y la

combinación de las sustancias. La obra de este pensador romano habría sido desconocida y combatida por el pensamiento europeo cristiano que lo consideraba ateaista y peligroso.

La obra de Lucrecio, que rescata el pensamiento atomista de los griegos, cobró valor e importancia y se impulsó en el siglo XVII, cuando autores como Jean Bitaud y Antoine de Villon refutaron la concepción aristotélica dominante que sostenía la idea continua de la materia. La osadía de estos autores les costaría su detención y la sentencia de muerte; sin embargo, continuaron la apertura del camino para la emergencia de las concepciones discontinuas de la materia que marcaron los fundamentos de la explicación científica moderna.

Los estudios sobre los aires, después denominados *gases*, se llevó a cabo por varios autores durante el siglo XVII. Entre ellos se destacaron Jan Baptist Van Helmont, Robert Boyle y Stephen Hales, quienes fueron fundamentales para construir una base teórica y, sobre todo, empírica, para sustentar la hipótesis atómica con bases científicas expuesta por Jhon Dalton en 1803. De acuerdo con Cubillos (2003) los postulados de la *hipótesis atómica*, denominada así en este escrito porque era bastante controvertible denominarla de teoría, estarían consignados en *el New Sytem of Chemical Philosophy* y podrían resumirse en los siguientes postulados:

- Todos los cuerpos están constituidos por un cierto número de partículas extremadamente pequeñas o átomos de materia que se mantienen unidas por la fuerza de la afinidad.
- Las partículas últimas de todos los cuerpos homogéneos son perfectamente iguales en peso, forma y todo lo demás. Cada partícula de agua es igual a otra partícula de agua; cada partícula de hidrógeno es igual a otra partícula de hidrógeno [...]. De esto resulta una nueva definición de *elemento*: sustancia homogénea a nivel atómico.

- El análisis y la síntesis química no van más allá de la separación de partículas que estaban separadas unas de otras. Es decir que toda reacción química no es más que la separación y unión de partículas.
- Ninguna creación o destrucción de materia está dentro del alcance de la acción química [...] que es una manera diferente de decir lo que ya había dicho Lavoisier con la conservación de la masa.
- Si hay dos cuerpos A y B, que tienden a combinarse, el orden según el cual los compuestos pueden formarse, comenzando por el más simple es el siguiente:



(Cubillos, 2003, pp. 95-96)

La hipótesis atómica pasaría por muchas discusiones durante gran parte de los siglos XIX y XX constituyendo un tema de investigación científica en el que físicos y químicos han contribuido notablemente con el desarrollo de distintos modelos. Las breves reflexiones desarrolladas anteriormente sobre discusiones históricas con respecto a la concepción continua de la materia versus la concepción discontinua ejemplifican que las controversias en ciencias son asuntos de vieja data e involucran distintos actores. No obstante, gran parte del análisis realizado gira en torno a una concepción epistemológica internalista de la ciencia, es decir que centra la atención en comprender la evolución histórica de conceptos, teorías o modelos científicos para establecer la validez de sus enunciados sin mencionar las influencias externas

propios de los contextos sociales, políticos y culturales de cada época. En consideración de Medina (1983), la concepción internalista en la historia y sociología de la ciencia se basa en tomar decisiones acertadas a partir del estudio lógico de la propia ciencia asegurándose que no hay injerencia de fuerzas sociales, políticas y económicas.

Repensando las concepciones internalista y externalista de la ciencia desde una mirada transversal

En la enseñanza de las ciencias, más allá de cuestionar, desconocer o negar un punto de vista internalista, es importante ampliar sus posibilidades. Para esto, la articulación de la mirada histórica y sociológica externalista contribuye a comprender que la construcción de los conceptos, teorías y modelos científicos también se relacionan con aspectos sociales, políticos, económicos, ideológicos, culturales y éticos de una determinada época. Una perspectiva transversal acuñada en la sociología de la ciencia por autores como Shinn y Ragouet (2008) posibilita el análisis externalista de la ciencia, sin desconocer su propia construcción interna, es decir, existe una interesante conjugación entre aspectos epistemológicos y sociológicos.

Los autores citados analizan reflexivamente el desarrollo de la ciencia, cuestionando la perspectiva sociológica propuesta por Robert Merton (1977), quien, al estudiar las condiciones religiosas, profesionales, económicas e institucionales de la revolución científica y técnica que ocurrió en Inglaterra durante el siglo XVII, estableció que la ciencia constituye un sistema autónomo que posee un *ethos* específico, en el cual la comunidad de practicantes sigue cuatro normas: el universalismo, el “comunismo”, el desinterés y el escepticismo.

El *universalismo* hace referencia a la constitución de la verdad en la ciencia ligada a la aplicación de criterios impersonales establecidos para aceptar o refutar enunciados científicos que no están subordinados a los atributos personales o sociales de sus productores. En términos epistemológicos, la

verdad de una teoría o modelo científico depende de la capacidad de explicación que esta tenga frente a determinados problemas sobre la naturaleza denotando un cierto objetivismo.

El “*comunismo*”, escrito entre comillas, no hace alusión a una concepción partidaria o ideológica alguna, como se suele entender el término; en su lugar, refiere a la naturaleza pública de la producción de conocimiento científico, cuyos resultados pertenecen a la comunidad y puede constituirse en bienes públicos.

El *desinterés* apunta a que los científicos buscan la verdad sin pensar necesariamente en generar un bien o un perjuicio a la humanidad; tampoco son movidos por intereses personales, egoístas o extracientíficos.

El *escepticismo* constituye un ejercicio relevante de la producción científica, que consiste en la exigencia expresa del escrutinio crítico y riguroso de la comunidad de especialistas sobre los trabajos, teorías y modelos para garantizar la objetividad y validez frente a otro tipo de producciones estructuradas a partir de juicios ideológicos.

Los autores que defienden la tesis mertoniana de la autonomía de la actividad científica también se apoyan en la *cienciometría* para dar cuenta de la visibilidad y calidad con que los científicos producen conocimiento y pueden ser monitoreados públicamente. En este sentido, Eugene Garfield creó en 1955 el indicador bibliométrico de factor de impacto para valorar cuantitativamente y de forma anual la citación de artículos científicos. Como resultado, el autor evidenció que revistas como *Nature* o *Science* eran las más prestigiosas en la comunidad científica y salvaguardaban lo que podía caracterizarse como ciencia.

En otra orilla, Shinn y Ragouet (2008) analizaron la perspectiva sociológica que hace alusión a la ciencia como una actividad que no es autónoma, propiamente hablando, e incluso podría ser entendida de la misma forma que otros conocimientos sociales o humanísticos. Esa perspectiva

se desarrolló desde la segunda mitad del siglo XX por varios autores que configuraron lo que se conoce como *nueva sociología del conocimiento*. David Bloor fue uno de los pioneros de esta sociología con el Programa Fuerte, a través del cual criticó los principios de universalismo, escepticismo y desinterés expuestos por Merton, al señalar que estos no son específicos de la ciencia y, de acuerdo con análisis históricos, evidencia que pueden cambiar con el tiempo. Además, la tesis que la racionalidad es propia de la actividad científica debe abandonarse porque en la sociedad son aceptadas reglas para conseguir la comunicación que se efectúa por medio del lenguaje a través de procesos de negación, contradicción y discriminación.

Según Bloor (1971), la sociología la ciencia, al igual que otros conocimientos humanos, es relativa a las personas, lugares y culturas en determinados contextos históricos. De esta forma, cuestiona el racionalismo y muestra el relativismo para comprender las diferentes áreas del conocimiento de acuerdo con los siguientes principios:

- ▶ Causalidad: es importante estudiar el origen de las creencias desde diferentes puntos de vista, además de los sociales, pueden estar en un determinado contexto y depende de los usuarios.
- ▶ Imparcialidad: se debe analizar la verdad o la falsabilidad, la racionalidad o la irracionalidad, el éxito o el fracaso, es decir, deben considerarse diferentes perspectivas y no solo criterios racionalistas absolutos.
- ▶ Simetría: es necesario estudiar aspectos falsos o verdaderos tanto del análisis social como del análisis racional y lógico.
- ▶ Reflexividad: los análisis sociológicos no solo dan cuenta de los objetos que estudia, sino de sus propios procesos de producción.

Dentro de la nueva sociología del conocimiento se impulsaron los estudios etnográficos en el laboratorio por parte de Bruno Latour y Steve

Woolgar (1995), los estudios de las arenas transepistémicas de investigación propuestos por Karin Knorr-Cetina (1996), entre otros trabajos que comparten el principio constructivista, para entender que la ciencia, también es una construcción social y no necesariamente una práctica realizada a partir de una realidad dada.

Las críticas de los autores comentados anteriormente son importantes para entender la dinámica social de la ciencia en su transcurrir histórico; si bien pueden exacerbar posturas radicales del relativismo e, incluso, del posmodernismo que, en algunos casos, desconocen el papel de la razón, la experimentación y la constitución lógica de evidencias para constatar la veracidad y el rigor de la investigación científica, abriendo la puerta para posturas negacionistas sobre la ciencia que pueden buscar su justificación en estas teorías. Lo anterior puede ser peligroso en términos del bienestar humano, por ejemplo, al enfrentar decisiones de emergencia como la vivida en la pandemia originada por la covid-19, que obligó a los científicos y las instituciones públicas y privadas a desarrollar las vacunas que demostraron ser eficaces para disminuir la mortalidad mundial, pese a las controversias que aún continúan, la producción de vacunas gracias al conocimiento científico fue fundamental para salvar vidas en todo el planeta y fueron esenciales para superar la pandemia. No obstante, en este periodo de crisis sanitaria, posturas negacionistas desconocieron la importancia de la ciencia para enfrentar la enfermedad.

La sociología transversal de la ciencia surge como una alternativa a las concepciones meramente racionalistas o relativistas para explorar mecanismos sociales que den cuenta de la propia autonomía de la actividad científica, así como de diversos mecanismos que hacen de ella un microcosmos social en permanente interacción con diversos contextos sociales, políticos y económicos. También resalta la existencia de flujos migratorios entre las disciplinas que conforman el campo científico, más allá de establecer fragmentaciones entre ellas, estas pueden establecer convergencias que pueden fortalecer subcampos de investigación.

Pierre Bourdieu contribuyó con la construcción de una concepción crítica de la ciencia, más allá de seguir encasillados en las dicotomías entre internalismo -externalismo, racionalismo- relativismo. Ofreció una lectura interesante para comprender la autonomía relativa del trabajo científico, en estrecha relación con otros escenarios sociales que incluyen aspectos económicos, políticos y culturales.

Este reconocido sociólogo pensó la ciencia desde una concepción que va más allá del subjetivismo y objetivismo; racionalidad e irracionalidad, proponiendo sus análisis a partir de la comprensión de relaciones existentes en las prácticas sociales. En este sentido, propuso la idea de *campo* como un conjunto de relaciones que dan identidad y autonomía a un conjunto de agentes que interactúan en atención a reglas definidas por ellos mismos para establecer qué es legítimo, o no, en sus procesos de producción simbólica. Desde este punto de vista, se puede reconocer el carácter autónomo de la ciencia, pero se visibiliza que los científicos establecen disputas y conflictos, en parte, por la defensa de las tradiciones que se han constituido históricamente y que fijan una ortodoxia generalmente defendida por los que tienen mayor trayectoria y experiencia, frente a la heterodoxia que puede surgir por practicantes más jóvenes que juegan un papel de herejes, en muchos casos subvirtiendo o cuestionando la reglas establecidas, este tipo de disputas contribuyen a la evolución del campo y dan cuenta del carácter dinámico del mismo. En palabras de Bourdieu (1990):

Un campo —podría tratarse del campo científico— se define, entre otras formas, definiendo aquello que está en juego y los intereses específicos, que son irreductibles a lo que se encuentra en juego en otros campos o a sus intereses propios (no será posible atraer a un filósofo con lo que es motivo de disputa entre geógrafos) y que no percibirá alguien que no haya sido construido para entrar en ese campo (cada categoría de intereses implica indiferencia hacia otros intereses, otras inversiones, que serán percibidos como absurdos, irracionales, o sublimes y desinteresados). Para que funcione un campo, es necesario que haya algo en juego y gente dispuesta a jugar, que

esté dotada de los *habitus* que implican el conocimiento y reconocimiento de las leyes inmanentes al juego, de lo que está en juego, etcétera. (p. 109)

Bourdieu (1994) discute ampliamente el significado de *campo científico*, destacando la autonomía de este en la medida de espacio histórico de construcción de diversas relaciones entre los agentes participantes, los cuales disputan la legitimidad de las teorías que producen de acuerdo con las competencias de los científicos. Las competencias en mención hacen referencia a las habilidades y conocimientos que tienen en relación con una determinada tradición disciplinar; es decir, en el campo se entabla una lucha para instituir el monopolio de la autoridad científica que define quién o quiénes están autorizados para hablar en nombre de la ciencia o ser reconocidos como científicos.

La idea de campo científico cuestiona el planteamiento sacralizado de la comunidad científica propuesta por la sociología funcionalista, que hacía alusión a un grupo de personas desinteresadas en términos políticos e ideológicos, pues la pretensión de dicho grupo se centraba en la búsqueda de la verdad. Los científicos en el campo crean estructuras jerarquizadas en las cuales se establece el prestigio, reconocimiento o celebridad de una determinada autoridad, lo que puede ser percibido bajo la percepción de un plano individual o institucional; para el primero, por ejemplo, aquellos acreedores de premios nobeles, gozan de un prestigio incuestionable, asimismo existen institutos, centros o universidades que gozan de un alto prestigio en la investigación científica.

Los científicos también disputan un lugar en el campo debido a determinados intereses que son difíciles de identificar solamente en el plano particular de un científico, porque lo que puede ser de interés para él, puede que no lo sea para otros. De todas formas, esa dinámica dialéctica entre lo individual y lo colectivo es constante para determinar la autoridad científica, que también da cuenta del capital social que asegura un poder, en cuanto menos competidores tengan y en el caso de hacer alusión

a una autoridad externa se desacredita porque debe legitimarse la producción del campo superando los antecesores. La autoridad científica será una especie de capital simbólico que puede ser acumulado, transmitido y reconvertido.

Es posible establecer una relación entre el pensamiento de Bourdieu y Habermas, según Dos Santos y Oliveira (2013), en cuanto a la existencia de intereses en la ciencia que explican la imposibilidad de su neutralidad. Ahora bien, para Bourdieu el establecimiento de los objetos de investigación en la ciencia se relaciona por criterios propios y políticos que están inscritos en las disputas y los procesos de legitimidad que construyen los agentes del campo en términos de los juegos que establecen para definir la autoridad dominante. Para Habermas los intereses son condiciones indispensables para la existencia de la investigación científica, independientemente de los métodos usados, pero estos varían en atención al tipo de racionalidad que siguen las diferentes ciencias, por ejemplo, las empírico-analíticas se basan en un interés técnico y de control para manipular y prever determinados aspectos, sea sobre el mundo natural o social. La ciencia histórica hermenéutica posee un interés práctico, en la medida que busca una comprensión interpretativa de sus configuraciones y, por último, las ciencias críticas presentan el interés emancipatorio a través de la autorreflexión y la búsqueda de la autonomía.

De forma particular, conseguimos ilustrar las luchas por legitimidad científica, en términos de prestigio y reconocimiento en la ciencia, para lo cual rescatamos el trabajo de Nepote (2011), quien ejemplifica con casos históricos disputas entre diferentes científicos. A saber: Gottfried Wilhelm Leibniz versus Isaac Newton, por la invención del cálculo; Thomas Alva Edison versus Nikola Tesla, por la invención de la corriente alterna; Alfred Russell Wallace versus Charles Darwin, por la teoría de la evolución; Antonie Lavoisier versus Joseph Priestley, por la caracterización del oxígeno; Louis Pasteur versus Félix Archimède Pouchet, por la teoría de los gérmenes; Niels Bohr versus Erwin Schrödinger, por la mecánica cuántica. Estos casos nos ayudan

a entender mejor la controversia sociocientífica como parte de complejos entramados históricos que pueden discutirse en clase o en diferentes escenarios formativos con nuestros estudiantes o educandos. Para ejemplificar de mejor forma la controversia o cuestión sociocientífica en la historia retomamos específicamente la disputa librada entre Lavoisier versus Priestley, extendiendo la comprensión de la controversia que puntualmente analiza Nepote a un ámbito más amplio que constituiría la propia emergencia de la química como ciencia moderna, a partir de la disputa librada entre la teoría del flogisto dominante para la primera mitad del siglo XVIII y la teoría de la oxidación promovida por Antoine Lavoisier (1743-1794). Este análisis se presenta en el siguiente capítulo.

Para seguir pensando: ciencia para la paz

En la siguiente lectura se ofrece una reflexión sobre la ciencia y la paz, a partir de ella proponga un análisis crítico de las diferentes posiciones sociales de los actores involucrados, en términos de las relaciones de poder establecidas y la búsqueda de una comprensión ética de la ciencia.

Ciencia para la paz

Publicado en *El Espectador*, blog “Ciencia para el Buen Vivir”, 24 de noviembre de 2023.

Leonardo Fabio Martínez Pérez

El escritor británico John Cornwell publicó en el año 2003 una majestuosa obra titulada *Los científicos de Hitler*, en la cual realiza un análisis histórico de la ciencia alemana en la primera mitad del siglo XX, preguntándose si es cierto que el desarrollo científico y tecnológico genera seres humanos más racionales, desapasionados, internacionalistas y objetivos y si tal emprendimiento es empleado de forma más ética en regímenes democráticos que en dictaduras. Las conclusiones de su análisis histórico develan la subordinación de

investigaciones científicas a las atroces prácticas antisemitas, dictatoriales y genocidas del programa político nazista. Ahora bien, la idea romántica de que la ciencia en manos de los regímenes democráticos contribuye a la libertad y a la paz mundial se cae en su peso al estudiar el proyecto Manhattan, las nuevas generaciones de armas nucleares, las sistemáticas violaciones de las libertades democráticas en guerras globales contra el terrorismo, la agresiva creación de patentes sobre elementos de la naturaleza, las discusiones éticas y morales sobre la clonación y el diagnóstico genético preimplantacional, entre otros, son algunos ejemplos que ilustran el uso antiético de la ciencia y la tecnología más allá de uno u otro proyectos político.

La teoría crítica demostró claramente que la institucionalización social de la ciencia y la tecnología en la era del capitalismo constituyó una nueva fuerza productiva que contribuye categóricamente a la generación de miles de mercancías que sostienen el hiperconsumo global y que contribuyen con la degradación y destrucción del planeta. Especialmente, desde la Segunda Guerra Mundial existe suficiente evidencia histórica para establecer que la ciencia y la tecnología se ha utilizado para multiplicar en cientos de millones de veces la capacidad destructiva del armamento disponible.

En oposición, se puede hacer un contraste del uso de la ciencia en la Alemania nazi para exterminar judíos con el uso de la ciencia y la tecnología, por parte del moderno estado judío, conocido como Israel, para exterminar palestinos en la franja de Gaza. En el primer caso, científicos alemanes de alto prestigio académico, como Fritz Haber contribuyeron con investigaciones para la producción a gran escala de gases tóxicos usados para el genocidio en campos de concentración, hoy asistimos a una escalada militar de una de las fuerzas armadas mejor equipadas del mundo que cuentan con sofisticados aviones de combate, blindados, tanques, submarinos, buques de combate y el conocido sistema de defensa cúpula de hierro diseñado para interceptar misiles de corto alcance. El uso del sofisticado armamento ya cobró la vida de más de 14 000 palestinos

desde el inicio de la fuerte confrontación entre Hamas e Israel registrado el 7 de octubre.

Frente al peligro evidente de la subordinación de la ciencia y la tecnología a determinados intereses políticos e ideológicos se hace imperioso reivindicar el papel central de la ética, la responsabilidad y justicia social como elementos centrales de la defensa de todas las formas de vida del planeta y de la dignidad humana. Justamente, el pasado 10 de noviembre se conmemoró el día mundial de la ciencia para la paz y el desarrollo en medio de las noticias de muerte y desolación que se naturaliza con el pasar de los días.

De la misma forma como científicos de alto prestigio como Albert Einstein, Bertrand Russel, Linus Pauling, Joseph Rotblat, entre otros, dedicaron sus esfuerzos a educar al público y a políticos sobre los peligros de la carrera armamentista nuclear debemos insistir en el redireccionamiento del desarrollo tecnológico para atender los grandes problemas del planeta y desistir de su uso bélico.

Disputas, luchas o pleitos por la legitimidad científica en la emergencia de la química como ciencia

Sin hacer alusión específica a la teoría crítica o a la teoría del campo científico, Nepote (2011) realiza un análisis de controversias socio-científicas en la historia de la ciencia a través del reconocimiento del carácter dinámico de la producción científica; al tiempo que evita caer en dualismos limitados ya discutidos. El autor mencionado considera que la ciencia puede contarse desde sus propias dinámicas racionales, hace énfasis en los brillantes avances de los investigadores en busca del bien común y el adelanto de la humanidad. Igualmente, alude a la posibilidad de narrar la ciencia por medio de los pleitos, batallas o disputas que ocurren entre los científicos por evidenciar la autoridad y el prestigio científico. En dicho estudio se prueba nuevamente el necesario análisis crítico de las paradojas existentes en la controversia sociocientífica.

Juan Nepote es un divulgador de la ciencia nacido en México, quien se destaca por sus escritos en diarios y revistas orientadas a construir una mejor imagen pública del emprendimiento científico, destacando sus implicaciones sociales, políticas y culturales. En su obra *Científicos en el ring* presenta un breve contexto histórico de la época en que vivieron

Antoine Lavoisier, Joseph Priestley y Carl Wilhelm Scheele, caracterizado por un momento de revolución social en el cual el régimen monárquico europeo recibía fuertes golpes y se abría paso a una nueva época liderada por la burguesía, que proclamaba la libertad y el reconocimiento de derechos. Este contexto influye en la vida y la concepción política e ideológica de estos autores. En su relato, la atención se concentra en Lavoisier y Priestley, quienes compartían la pasión por la experimentación sobre los aires (gases) y otros materiales. No obstante, en la arena política, el primero de ellos era defensor del régimen monárquico, lo que le costó su propia vida; mientras que el segundo era un liberal, quien, pese a sus creencias religiosas, logró vivir 20 años más que Lavoisier “exiliado” en los Estados Unidos.

Además de los datos biográficos, Nepote presenta la disputa que existió entre estos científicos autodidactas —es oportuno mencionarlo porque en la época no existía formalmente la carrera científica—. De tal manera, Lavoisier fue un abogado de formación y Priestley un erudito que se formó por sus propios medios en ciencias, además de poseer una fuerte formación religiosa. La disputa por la autoridad científica entre ellos remite a los créditos y el prestigio por liderar los estudios sobre la existencia del oxígeno, denominado *aire deflogistizado* por Priestley, quien fue el primero en observar las características de este gas, al mismo tiempo que lo hizo Scheele, quien lo nombró *aire ígneo*. Sin embargo, a Lavoisier le otorgaron los mayores créditos porque comprendió ampliamente que este nuevo elemento podría hacer parte de las evidencias empíricas que estaba construyendo para refutar la concepción dominante del flogisto.

La controversia entre estos autores no es fácil de resolver, de hecho, se retrata en libros de texto de química que poco mencionan el trabajo de Priestley más allá de indicar, sin mayor importancia, que fue quien “descubrió” el oxígeno. Una aseveración claramente empiriopositivista, ya que en ciencia el conocimiento no se descubre, se construye a partir de presupuestos teóricos y empíricos que se relacionan permanentemente.

Priestley fue un notable intelectual que se destacó por sus trabajos empíricos, en especial sobre la electricidad, que lo llevaron incluso a entender la interacción entre cargas eléctricas, más específicamente, en las fuerzas eléctricas con las que interactúan cargas puntuales en reposo en términos de la distancia que las separa. Con poca fortuna, Charles-Agustin de Coulomb también realizó este estudio y lo publicó con anticipación, razón por la cual recibió el crédito de lo que hoy conocemos como la Ley de Coulomb. Priestley estudió el aire que se le presentaba como extraño al observar qué ocurría en varios diseños experimentales que construyó para entender sus características, por ejemplo, cuando dejaba plantas y ratones dentro de capsulas de vidrio, sorprendentemente apreció que los ratones no morían. Hoy parece simple saber que gracias al oxígeno podemos vivir, al igual que muchos organismos dependen de este gas para realizar sus funciones vitales. También es lógico que las plantas lo producen y hacen que el aire sea respirable, o que sea fundamental para la producción de energía en los procesos de combustión de diversos materiales como el carbón, la gasolina, el alcohol u otro combustible.

El conocimiento sobre la estructura y propiedades fisicoquímicas y biológicas del oxígeno son claras y aceptadas por la ciencia, y podríamos decir que no tendría sentido pensar en mayores controversias al respecto. Aun así, nos preguntamos: ¿cómo se construyó ese conocimiento?, ¿quiénes lo construyeron?, ¿en qué contextos? La búsqueda de respuestas a estas preguntas desencadena un análisis histórico sobre los contextos sociales en los que se produjeron, las disputas que se desencadenaron para los respectivos créditos, entre otros aspectos, que hacen del asunto un proceso didáctico interesante de análisis, en el que se pueden caracterizar las controversias que dieron lugar a la construcción de un conocimiento que implicó muchos años de trabajo e importantes esfuerzos intelectuales por parte de los autores que lo produjeron.

Analizar las controversias en la historia nos remite a la época en que se produjeron, en la que no existía tal conocimiento y, por tanto, era

sorprendente y novedoso. Nos permite comprender que la ciencia es una construcción dinámica que evoluciona y se transforma con el tiempo y que, aunque posee una autonomía relativa, está estrechamente relacionada con los contextos sociales de producción, tal como se evidencia en el caso sobre la identificación del oxígeno.

A lo largo del siglo XVIII la ciencia moderna avanzó en su constitución con el liderazgo de los precursores de la física como campo científico, por ejemplo, las obras de Nicolas Copérnico, Galileo Galilei, Isaac Newton y tantos otros comenzaron a construir un importante capital cultural que les otorgaba prestigio y credibilidad; sin embargo, la química no existía todavía como ciencia moderna, pues los saberes precursores permanecían atados a la concepción aristotélica de los cinco elementos o a las diversas perspectivas de la alquimia.

El paso de la ciencia como práctica científica individual, a una actividad comunitaria o colectiva fue explícito en la creación de las primeras sociedades en el siglo XVII. A ese suceso lo precedieron reuniones informales, en algunos casos secretas, de aquellos interesados en construir un nuevo conocimiento distinto al teológico. Los interesados eran especialmente filósofos naturales, abogados, matemáticos e, incluso, religiosos que se adentraban en conocer la naturaleza. Debido a que en esa época no existían las ciencias como disciplinas, carrera o profesión, los integrantes de estas primeras asociaciones científicas, quienes desarrollaba labores precedentes a la química permanecían marginalizados.

Wojtkowak (1987) comenta que en 1657 se fundó la L'Academia de cimento en Florencia, Italia, que solo duró diez años; poco después, en 1660, se creó la Royal Society en Londres, la cual existe hasta nuestros días. Seis años más tarde se constituyó la Académie de Sciences de Paris; sucesivamente, en 1724, fueron instituidas la de Berlín y la de San Petersburgo. La institucionalización social de la ciencia principió con el surgimiento de estas sociedades, es más, avanzó con diferentes intereses

políticos. Mientras que la Royal Society nació como institución particular financiada por aportes de sus propios afiliados, la Académie de Sciences de Paris fue apoyada y autorizada por el monarca Luis XIV. En ese sentido, la primera acometía principalmente promover los saberes experimentales físico matemáticos; por su parte, la segunda admitía un amplio espectro de saberes que no entrasen en contradicción con ciertos intereses monárquicos. La efímera Academia de cimento surgió como una respuesta política en defensa de la obra científica de Galileo Galilei, cuando fue condenado a cárcel perpetua por el papa Urbano VIII por considerar que la tesis de la estabilidad del Sol y la movilidad de la Tierra era equivocada y se requería prohibir. Gómez (s. f.) ilustra este episodio:

La sentencia se cerraba con la orden de que fuese transmitida a todas las altas jerarquías del clero católico y a todos los inquisidores para que la hiciesen pública a todos los profesores de artes y matemáticas. En pocos meses la prohibición, bajo acusa de herejía, de seguir o enseñar las doctrinas galileanas recorrió todos los centros de saber de la Europa católica. Había pasado casi un siglo desde que en 1543 Copérnico publicase su *De revolutionibus*, y durante todo aquel tiempo —al menos hasta 1616— el heliocentrismo había circulado libremente entre científicos y filósofos. Los esfuerzos de Galileo y sus defensores por demostrar la verdad física, cosmológica, y no sólo instrumental, de la tesis de la centralidad del Sol y el movimiento de la Tierra no sólo no habían conseguido progresar en esa dirección, sino que se concluían en 1633 con un gran paso atrás en el camino de la libertad filosófica. El aristotelismo y el tradicionalismo intelectual habían ganado la batalla. (p. 445)

Para ampliar la comprensión sobre las disputas libradas por varios autores en el siglo XVIII, en términos de constituir el nacimiento de la química como campo científico, es importante caracterizar los distintos saberes de la época. Es posible agruparlos en aquellos que provenían de la tradición aristotélica aferrados a la existencia de los cuatro elementos esenciales, por un lado, y la alquimia que se conformaba de tradiciones

árabes, chinas y grecorromanas que se reconfiguraron en una concepción europea, por el otro.

La alquimia es un amplio saber practicado por chinos, árabes, griegos y romanos que buscaban la transmutación de ciertos materiales en oro, para así generar riquezas. Por esta razón, parte de su exploración se centró en el arte de manipular el fuego para trabajar con minerales y metales. A su vez, buscaba el uso de sustancias extraídas de la naturaleza para mejorar la salud o aumentar la longevidad, o encontrar el elixir de la eterna juventud. Estas pretensiones se fueron resguardando en prácticas místicas o mágicas. Según Cubillos (2003) aunque no se conozca exactamente el origen de todos estos saberes porque algunos historiadores la asocian a los chinos, otros a la cultura grecorromana y otros a la influencia árabe, lo cierto es que tienen en común la creencia de la metamorfosis de los metales, la cura de enfermedades con pócimas y la existencia de principios mágicos o espirituales.

Cubillos (2003) cita la historia china de Wei Po Yan, la cual alude a un maestro que se internó con tres discípulos en búsqueda de preparar una medicina que los hiciera inmortales. En efecto fue preparada y probada en un perro que murió, al igual que el maestro y un discípulo que también la probaron. Los otros dos discípulos decidieron no tomarla para vivir por lo menos otros diez años, pero después que se marcharon, el maestro, el discípulo y el perro revivieron y alcanzaron el camino de la inmortalidad. La historia remite al surgimiento de la alquimia en China, lugar en donde también se creó la idea que el oro podía aportar a la eterna juventud del ser humano. Así las cosas, en China se creó una corriente de alquimia externa, conocida como *alquimista exotérica*, que trabajaba con sustancias reales y desarrollaba técnicas para calentar, destilar y filtrar. La alquimia exotérica china se instauró como base de la desarrollada en India que, al conjugarse con el yoga tántrico, dio curso a las experiencias de medicación y transmutación en un estado placentero de exaltación emocional y admirativa.

La alquimia griega fue gestada en Alejandría, de acuerdo con Cubillos (2003). Uno de sus principales exponentes fue Zoísmo, quien vivió en el siglo IV y a quien se le atribuye la escritura de 28 tomos de la enciclopedia alquimista. Su obra refleja la gran influencia de los cuatro elementos que otros filósofos griegos caracterizaron y fueron defendidos ampliamente en la concepción aristotélica de la materia. Esta Alquimia proveniente de Alejandría centraba la atención en el desarrollo de técnicas para el tratamiento de los metales, como su transmutación en oro, y la consecución de un alto estado espiritual. Muchos de los registros de los desarrollos de este tipo de alquimia quedaron sin conocerse, debido a la destrucción de la biblioteca de Alejandría que en medio del fuego se llevó para siempre miles de conocimientos construidos hasta aquella época.

Los árabes, además de ser grandes guerreros para expandir su dominio en Europa hacia los 700 después de Cristo, se destacaron por conservar las tradiciones culturales y los conocimientos de los pueblos que iban dominando. Por tanto, tomaron una cuantía de textos griegos, egipcios, y romanos en los que se resguardaban concepciones sobre la materia, gran parte de ellas correspondientes a una comprensión discontinua que admitía la existencia de átomos como estructuras fundamentales e indivisibles.

Los alquimistas árabes Avicena, Razes y Yabir influyeron en el desarrollo de este saber en Europa. Dentro de sus saberes se destaca la explicación de principios especiales de lo metálico, que identifican el mercurio y el azufre con su propiedad de arder con cierta facilidad. Esto llevó a considerar que todas las sustancias sólidas serían una combinación de ese principio en el interior de la tierra. Ellos crearon el alambique, sabían destilar, filtrar, sublimar y precipitar. Deshidrataron alcoholes, prepararon ácido sulfúrico, sales de amonio, sulfuros metálicos, aleaciones, amalgamas y muchos productos que daban cuenta del importante desarrollo de operaciones prácticas.

La alquimia europea surgió gracias a la invasión árabe, quienes llevaron todos estos conocimientos y prácticas a este continente. Fue desarrollada hasta el siglo XVIII, momento de su decadencia en el que algunos de sus propios practicantes comenzaron a comprender de otra manera los fenómenos de transformación de los metales, especialmente lo que ocurría cuando se quemaban materiales o se desprendían diferentes “tipos de aires”.

Muchos alquimistas eran médicos, y uno de los más destacados fue Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim, conocido como Paracelso, el “último alquimista” —referido así por varios autores, entre ellos Cubillos (2003)—. Se destacó por buscar la cura de enfermedades usando diferentes tipos de sustancias, creando así la iatroquímica o yatroquímica, aunque creía en la concepción de los cuatro elementos esenciales, ellos se expresaban a través de los tres principios: sal, azufre y mercurio. Según Partington, citado por Cubillos (2003), estos principios se definirían de la siguiente forma:

La sal era el principio de la fijeza y de la incombustibilidad, el mercurio de la fusibilidad y de la volatibilidad, y el azufre, de la inflamabilidad. Los dos últimos principios habían sido reconocidos como tales por los alquimistas, pero Paracelso añadió, y en esto parece haber sido el primero, la sal, formando así la tría prima, a la cual comparaba con la terna: cuerpo, alma y espíritu... (p. 44)

El surgimiento de la química como campo científico implica en esencia el cuestionamiento de la concepción aristotélica de los cuatro elementos y la superación del pensamiento alquimista, sobre todo, en sus tendencias místicas y mágicas, pues los conocimientos y técnicas para trabajar los metales y otras sustancias son fundamentales para la emergencia de las primeras teorías químicas.

Varios personajes de la época, sin abandonar totalmente la concepción alquimista, contribuyeron con el nacimiento de la química. Fue el caso de

Juan Bautista Van Helmont que, aunque cuestionaba la concepción de los cuatro elementos, aceptaba la existencia de los tres principios esenciales de la sal, el mercurio y el azufre. En sus trabajos observó la producción del gas silvestre (dióxido de carbono) por acción de los ácidos sobre los carbonatos, así como estudió la combustión del carbón y la fermentación.

Uno de los fundadores de la Royal Society, conocido como Robert Boyle, junto con otros personajes, como su discípulo John Mayow, cuestionaron tanto el pensamiento aristotélico como el alquimista sobre los principios esenciales consagrados en la sal, azufre y mercurio en la segunda mitad del siglo XVII. Estos autores realizaron varios trabajos prácticos que les permitieron construir un nuevo concepto sobre el elemento que hacía alusión a los ingredientes o a la composición de todo aquello que era conocido como elemento; esto significa que los elementos no podrían estar hechos de otros elementos, ni podrían ser obtenidos los unos de los otros. Es decir que el agua no sería un elemento, sino aquello que la constituye: el hidrógeno y el oxígeno, cuyas propiedades serían distintas a la misma agua, que guardaba sus propias propiedades sin ser un elemento.

En Boyle (1985) podemos identificar la fortaleza de sus críticas sobre las dos grandes concepciones que no favorecían la emergencia de la química como campo científico:

En primer lugar, no considero que sea convincente el argumento que usan emplear los aristotélicos en favor de sus elementos, así como los químicos¹ a favor de sus principios, de que, dado que se encuentra esta o aquella otra cualidad que atribuyen a un elemento o principio en este o aquel cuerpo que llaman mixto, ha de deber esa cualidad a la participación de ese principio o elemento. En efecto, la misma textura de las partes u otra modificación de la materia puede producir semejante cualidad en el cuerpo más

1 En la traducción del texto de Boyle se citan alquimistas, los químicos de ese momento histórico. Específicamente se trata de los practicantes de la alquimia más avanzada, quienes poseían un amplio desarrollo práctico, tal es el caso de Paracelso. Esta cita es propia para facilitar la interpretación de la obra original de Boyle.

simple y en el más compuesto, y ambos de ellos pueden derivarla cada uno por su lado de la misma causa y no uno de la participación del otro. Así, el agua, la tierra, los metales y las piedras, etc. son pesados por razón de la misma causa de la gravedad y no porque los demás participen de la tierra, tal y como se ve en el agua elemental que es un cuerpo tan simple como ella, siendo con toda pesada. (p. 164)

Con el ánimo de tener en cuenta los importantes aportes de Robert Boyle y los demás personajes que apoyaban su obra, principalmente en el contexto inglés, para la emergencia de la química como campo científico, algunos autores como Cubillos (2003) remiten a historiadores. Este grupo considera que Boyle podría ser considerado el “padre de la química”, lo que interpela a quienes dan el crédito a Lavoisier. Más allá de seguir una tendencia historiográfica continuista y descriptiva de grandes inventores, descubridores o precursores, considerada en el argot de algunos historiadores o filósofos de la química como limitada, me interesa evidenciar la controversia existente sobre los protagonistas y sus disputas en el proceso de creación de la química como campo científico. Los trabajos de Boyle y aquellos que compartían sus ideas también abarcaron el estudio de las propiedades de los aires de la época (gases), a partir de los cuales afianzaron la concepción corpuscular o discontinua de la materia.

Bensaude-Vincent y Stengers (1997) en sus preguntas ¿cómo conquistó la química su derecho de ciudadanía?, y ¿cómo se convirtió en una ciencia?, identificaron la misma controversia que estoy tratando. Estos autores señalan que la mayoría de los historiadores de la química respondieron la pregunta de su origen en alusión a la ruptura con las tradiciones artesanales de la alquimia, como lo he analizado anteriormente. No obstante, los puntos de vista están divididos acerca de los acontecimientos o razones que originaron dicha ruptura, pues dependieron del autor, de su cultura o de su país de origen. En todo caso, es situado en el siglo XVIII como padre de la química a Ernst Georg Stahl, en Alemania, o a Antoine Lavoisier, en Francia; otra porción prefiere remontarse al siglo XVII y otorga

la invención al inglés Robert Boyle. De cualquier manera, hay varias narrativas e historias sobre la química y, en mi caso, rescato todas aquellas que valoricen la constitución del campo que necesariamente abarca tensiones, disputas y luchas por la autoridad científica en cuanto a quiénes y por qué determinaron su emergencia. Así, la emergencia de la química abarca varios agentes del campo y luchas por prestigio, autoridad y reconocimiento, más allá se permanecer en una concepción individualista del padre de la química.

Los franceses defienden la idea de que los créditos del nacimiento de la química como campo científico se deben en especial a la obra de Lavoisier, y argumentan que, además de él, había un gran trabajo de otros personajes que enseñaban el saber “químico”, principalmente en facultades de medicina, que, como fue aclarado, estaba anclado a la tradición europea de la alquimia. Según Wojtkowak (1987), en el siglo XVII se destacaron los trabajos de sabios franceses, como Jean Rey, quien, entre muchas actividades prácticas, calcinó estaño y plomo, con lo cual probó el aumento de peso y explicó que se había tomado algo de aire, esto constituyó el contexto fenomenológico que siguió explorándose por otros personajes, como Lavoisier, quien analizó con más detalle y con otros trabajos prácticos el fenómeno para luego formalizarlo, como la ley de la conservación de la masa. Nicolas Lémery fue un notable profesor del saber “químico”, se destacó por sus trabajos con minerales, vegetales y animales. Es posible afirmar que este farmacéutico es uno de los pioneros de la enseñanza de la química junto con otros coterráneos que le antecedieron: Nicaise Lefebvre y Christopher Glaser, quienes se dedicaron a este oficio y escribieron libros de texto. Estos personajes impartieron lecciones en el famoso Jardín de plantas medicinales, que luego fue establecido por mandato real como Jardín del Rey con el propósito de enseñar botánica que aportaba a la formación de los médicos, también enseñaron en la Facultad de Medicina de la Universidad Montpellier.

Bertomeu y García (2006) señalan que el texto de enseñanza escrito por Lémery fue mejor acogido y se destacó en relación con los escritos por sus antecesores, pues lograba captar la atención no solo de los aprendices de boticario, médicos y farmacéuticos, sino de todos los interesados en los saberes de “la química”; es más, iniciaba con una discusión sobre este saber, conocido como *arte espagórico*, *arte hermético*, *alquimia* o *pirotecnia*. Gran parte del texto estaba dedicado a explicar recetas y operaciones con los principios fundamentales y mezclas. Las descripciones se tornaban llamativas con explicaciones mecanicistas e ilustraciones de laboratorio con hornos de reverbero, retortas, alambiques, embudos y otros instrumentos que ya se utilizaban ampliamente en la época. Durante el siglo XVII la tradición europea de la alquimia también hizo parte de los trabajos realizados en Alemania. De ese acervo se destacan Daniel Sennert, Joachim Jungius, Henri Brand, Johann Kunckel; Joachim Becher, entre otros. Algunos de estos personajes compartían la concepción empirista de Francis Bacon y también lograron desarrollar una concepción corpuscular de la materia. Se destaca el trabajo de Brand por sus observaciones y desarrollos prácticos sobre el fósforo que solo se conoció hasta ese momento, resultando sorprendente por su luminosidad.

La alquimia alemana y el despliegue de los trabajos prácticos adelantados en el laboratorio, junto con la simpatía por la filosofía empirista de Bacon, marcaron el contexto propicio para la emergencia de una interesante teoría que explicaría de forma lógica los fenómenos de la combustión y la calcinación ampliamente observada por los alquimistas durante varios siglos. Un artesano alemán, que luego se formó de manera empírica en la alquimia, sentó las bases de la teoría del flogisto. Se trata de Johann Joachim Becher, quien trabajó desde muy joven para sostener a su familia; gracias al saber que logró construir y plasmar en textos sobre metalurgia, medicina y alquimia alcanzó el nombramiento real como profesor de medicina en la Maguncia. Su obra de 1669 conocida como *Physica Subterranea* compiló gran parte de la experiencia forjada en laboratorio de Munich, fue

reeditada y divulgada ampliamente por su coterráneo Georg Ernst Stahl en 1703. De acuerdo con Bertomeu y García (2006) se puede decir que Becher introdujo la propiedad de los cuerpos minerales de combustibilidad, fluidez o volatilidad:

Becher creía que los componentes inmediatos de los cuerpos minerales entre tres tipos diferentes de tierras, cada una de ellas portadora de una propiedad: el aspecto vítreo, el carácter combustible y la fluidez o volatilidad. La tierra que más nos interesa es la que denominó *terra pinguis* y que consideraba portadora del principio de la inflamabilidad. Su nombre podría traducirse como 'tierra grasa' o 'tierra oleaginosa', aunque Becher empleó también otras expresiones para designarla, entre ellas 'azufre flogisto'. (p. 39)

Stahl, a diferencia de Becher, realizó un amplio proceso formativo en la Universidad de Jena, en la que se graduó como médico y luego fue profesor destacado de la Universidad de Halle. El interés de Stahl por la obra de Becher cobró sentido con sus propias investigaciones sobre fermentación, que tenía notable interés industrial por la producción de alcohol. La genialidad de Stahl consistió en relacionar tres fenómenos que se veían separados: la combustión, la calcinación y la respiración.

Al explicar lo que sucedía en la fermentación y la combustión, Stahl argumentó que en los dos procesos se desprendía el principio graso o sulfúreo que denominó *flogisto*, lo que corresponde a un principio asociado a la acción del fuego sobre los cuerpos, es decir, cuando estos ardían o se quemaban se desprendía ese principio que también podía recogerse por otro cuerpo. Cubillos (2003, p. 58) representa la explicación ofrecida por Stahl de la siguiente forma:

Calcinación

Metal \longrightarrow Cal + flogisto

(Cal + flogisto)

Cal + Sustancia rica en flogisto \longrightarrow metal

Para seguir esta representación, al calentar un metal como el hierro o el plomo se forma un producto gris que no tiene las propiedades de los metales que le precedieron como brillo, maleabilidad y ductilidad, sino un aspecto terroso, que eran conocidas como cales del metal, las cuales podían usarse nuevamente para transformarse en los metales de partida. Esos fenómenos se explicaban satisfactoriamente con la pérdida o ganancia de flogisto.

En el caso de la combustión podemos representar el fenómeno de la siguiente forma:

Madera \longrightarrow Ceniza + flogisto

(Carbón + flogisto)

La teoría del flogisto se constituyó en una escuela de pensamiento que se extendió desde Alemania y Francia a gran parte de Europa, a partir de las obras centrales de Stahl: *Zimotecnica fundamental o teoría universal de la fermentación*; *Pensamientos simples*; *Idea general de la química teórica y práctica*, y *Método de examen de las aguas minerales*. La nueva teoría sirvió para construir un marco de referencia que comenzaba a cuestionar principios alquimistas y la concepción aristotélica de los cuatro elementos. También se mostraba altamente transformadora porque lograba dar cuenta de cambios importantes de las sustancias, más allá de una mística esotérica y mágica se abrió paso a un razonamiento lógico y simbólico.

En términos de la concepción sociológica de Bourdieu, podemos decir que la teoría del flogisto fue construyendo un gran capital social y simbólico, lo que la llevo a constituirse como la perspectiva dominante del saber químico. El prestigio se fue consolidando con los trabajos de otros personajes que contribuyeron al origen de la química por sus trabajos prácticos, pero que se aferraron a las concepciones limitadas que la teoría ofrecía frente a los primeros cuestionamientos. Retomando el trabajo histórico de Wojtkowak (1987) podemos caracterizar la fuerte influencia de la teoría del flogisto en importantes pensadores del saber químico en Europa.

En Inglaterra, Henry Cavendish fue copartidario de la teoría del flogisto, pues en sus trabajos experimentales sostuvo que algunos compuestos de arsénico tenían menos flogisto. Asimismo, al obtener aire inflamable (hidrógeno) por acción de ácidos sobre metales se liberaba flogisto o *hidrato de flogisto*, como lo denominó, esta cavilación fue compartida por otros autores, como Richard Kirwan y Johann Christian Wiegleb.

Stahl configuró un gran capital simbólico y social que fortaleció su prestigio, al igual que el de todos aquellos que seguían, defendían, investigaban y buscaban ampliar la teoría del flogisto. Su capital simbólico fue ampliado por su autoridad como médico respetable que, aunado a las explicaciones que ofrecía de las transformaciones de las sustancias, ganaba admiración de grandes intelectuales de la época, como Immanuel Kant. Bertomeu y García (2006) comentan que Kant lo equiparaba a Galileo y Torricelli, como grandes percusores de las ciencias físicas que gestaron una importante transformación en el pensamiento. Según García (2003), Kant suscribió en *Crítica de la razón pura* que: “Con la teoría del flogisto de Stahl se hizo la luz para todos los investigadores de la naturaleza” (p. 17).

De acuerdo con Bertomeu y García (2006) varios libros de texto de enseñanza de la química de ese momento reconocían a Stahl como el más grande “químico” de todos los tiempos. En los libros actuales, generalmente, se presta poca atención a la teoría del flogisto y, en algunos casos,

se puede promover la idea de que este pensamiento retrasó el nacimiento de la química como ciencia, lo que evidencia la controversia existente al respecto, ya que para el siglo XVIII incluso grandes precursores de la química como Cavendish, Priestley, Black, entre otros, seguían, respetaban y admiraban la teoría del flogisto.

Los cuestionamientos sobre la validez de la teoría del flogisto fueron promovidos al comienzo con cautela y timidez por Lavoisier, quien sabía del prestigio que tenía el trabajo promovido por Stahl, el cual dominaba el campo “científico” de los “químicos”. Lavoisier no gozaba del prestigio de Stahl, pero contaba con un gran capital social, pues hacía parte de la aristocracia francesa, era hijo de Jean Antoine de Lavoisier, procurador del Parlamento de París y de Emilie Punctis, descendiente de una familia de la nobleza. El capital social de Lavoisier fue creciendo a partir de su capital cultural, desde los diecisiete años se destacó por proponer mejoras significativas al sistema de iluminación de París y en 1764 publicó su primer trabajo sobre composición del yeso. García (2003) cuenta que, en 1768, a los veinticinco años, fue aceptado como parte de la Académie des Sciences de Francia gracias a sus investigaciones sobre el agua, al demostrar que al calentarla no se transformaba en tierra, como se creía según las descripciones de Van Helmont, pues el peso del recipiente que la contenía se conservaba antes y después de calentarla; es decir, el residuo que se producía (tierra) era del mismo vidrio y el agua permanecía sin alteración alguna.

Como parte de la clase rica de la sociedad francesa de la época, Lavoisier contaba, además de un buen capital social, con un importante capital económico, esto le permitió dotarse de instrumentos de laboratorio y realizar importantes montajes en su propia casa o lugar de trabajo, ya que los estudios que hacía sobre los materiales eran promovidos por su interés y pasión hacia el conocimiento, y no constituía su actividad laboral. Su ubicación social privilegiada le permitía interactuar con otros nobles de la época, circunstancia favorable para conocer trabajos de otros estudiosos como Joseph Priestley, que en 1774 era secretario del aristócrata inglés

Lord Shelborn, con quien visitó a Lavoisier y narró las experiencias que estaba desarrollando sobre un nuevo aire que había obtenido, cuyas propiedades lo sorprendían, pues avivaba la llama cuando se quemaba un material y era respirable. Efectivamente, Priestley se refería al oxígeno, que había obtenido al calentar cal metálica de mercurio (óxido de mercurio), y había denominado *aire desflogistizado* porque tenía la propiedad de hacer arder, lo que significaba que debería tener muy poco flogisto que habría perdido.

Carl Wilhelm Scheele también había obtenido oxígeno a partir de trabajos experimentales con estaño de mercurio y lo había denominado inicialmente *aire de vitriolo* y después *aire de fuego*. Aunque Lavoisier pudo conocer el trabajo de Scheele porque le escribió una carta narrando sus experiencias y pidiendo una apreciación, no fue considerado como merecía. Pese a que los trabajos de Priestley y Scheele eran esenciales para analizar el fenómeno de la combustión y la calcinación, Lavoisier emprendió estudios específicos para explicar el porqué del aumento del peso de los metales cuando se calentaban, logrando resolver el problema en 1775, año en el que presentó una conferencia ante la academia de ciencias explicando el principio por el cual el aire desflogistizado o el aire de fuego se unen con los metales durante la calcinación.

Las variaciones de peso al calentar un metal y luego volver a obtenerlo a partir de su cal eran conocidas por Stahl y sus partidarios, quienes midieron incluso la proporción en que disminuía el peso en la formación del metal, lo cual era explicado por la adición de flogisto hacia el cuerpo más ligero. Según Bertomeu y García (2006), el modelo del flogisto era bastante amplio y completo:

Llegó incluso a imaginar lo que podríamos denominar un ciclo del flogisto: el flogisto que se desprendía en los procesos de fermentación y calcinación podría ser absorbido por las plantas que, gracias a ello, producían la materias grasas y carbonosas ricas en flogisto, las cuales podían ser empleadas para la combustión o para reducir los metales. (p. 41)

Lavoisier necesitaba levantar evidencias contundentes para cuestionar la teoría dominante. Para ello, emprendió los estudios sobre la formación de los ácidos, explicado a través de la absorción que los metales hacen de la parte más limpia del aire; con tal fin, en 1774 sintetizó el ácido fosfórico y en 1776 logró obtener el ácido nítrico. Su gran habilidad para medir la masa en los montajes experimentales que realizaba le proporcionaban cada vez más información para erigir una nueva teoría sobre la calcinación y la combustión.

En la introducción que hace Ramón Gago Bohórquez del tratado elemental de química de Lavoisier (1982), se encuentra una narración importante de los trabajos experimentales realizados por el notable francés, los cuales le permitieron concluir que el aire atmosférico se componía de una cuarta parte del aire eminentemente respirable y de tres cuartas partes de un *aire mefítico* (nitrógeno), de naturaleza desconocida para él, pero que había sido obtenido antes por Cavendish al pasar aire sobre carbón incandescente y después colocar potasa caustica. Además, este aire se mantenía inactivo y era el mismo antes y después de finalizada la combustión. También sostenía que el ácido vitriólico (ácido sulfúrico) y fosfórico se componía del aire eminentemente respirable (oxígeno) en más de la mitad de sus respectivos pesos. Así, Lavoisier sustentó su teoría sobre los ácidos constituidos por el aire respirable que él denominó *oxígeno*, proveniente del griego *oxýs*, 'ácido', y *genos*, 'generador'.

El problema sobre la calcinación de los metales estaba prácticamente resuelto. A la luz de la interpretación actual del trabajo de Lavoisier, se puede decir que propuso una teoría de la oxidación en la cual el oxígeno reaccionaba con los metales formando óxidos y estos, a su vez, al reaccionar con agua, formaban el correspondiente ácido. Ahora bien, faltaba explicar el fenómeno de la combustión, que además de implicar la formación del aire fijo (dióxido de carbono) obtenido por Black, también producía calor y luz; para esto Lavoisier presentó su explicación en 1777 ante la Académie des Sciences, en una memoria sobre la combinación de la materia del

fuego con los fluidos evaporables, y de la formación de los fluidos elásticos aeriformes. Aunque su explicación aún era limitada porque atribuía un cierto carácter de sustancia al calor, lograba medir sus variaciones con el termómetro y esto afianzaba otro cuestionamiento a la teoría del flogisto, que nunca había logrado medir dicha entidad abstracta y etérea.

Sin embargo, la autoridad y el prestigio dominante de la teoría del flogisto no se derrumbó fácilmente, pues reconocidos intelectuales de la época, como Pierre Joseph Macquer, miembro de la Académie des Sciences, era defensor férreo del flogisto y, frente a las memorias contundentes de Lavoisier, propuso adaptar estos hallazgos a la teoría del flogisto:

Siguiendo a Lavoisier, Macquer pensaba que el aire era necesario para mantener la combustión y lo consideraba como el causante del aumento del peso de los cales. Sin embargo, identificó el flogisto con la luz desprendida durante la combustión y la calcinación. En su opinión, el aire reemplazaba al flogisto en los metales y este último se desprendía en forma de luz. A través de estas modificaciones y compromisos, Macquer pretendía mantener la existencia del flogisto y, al mismo tiempo, asimilar las cruciales experiencias de la química pneumática de los años setenta. (Bertomeu y García, 2006, p. 82)

Asimismo, las ideas de Priestley, quien defendía el flogisto, se extendieron por Italia y, allí, Alessandro Volta las siguió y defendió adaptando los hallazgos de Lavoisier. Apuntó que el aire desflogistizado de Priestley o el aire respirable de Lavoisier estaba formado por aire nitroso combinado con una tierra y que el aire inflamable es un aire combinado con flogisto. El naciente campo de la química como ciencia se configuraba a manera de un espacio de disputa y lucha por la legitimidad de la autoridad que debía determinar qué reglas o principios debían dominar las explicaciones sobre los fenómenos que se estudiaban. Lavoisier buscó aumentar su capital académico o simbólico, para ello, como ocurre en las luchas por el poder, buscó aliados. En 1777 comenzó trabajos con Pierre-Simon Laplace, quien

inventó el calorímetro de hielo, junto a Lavoisier desarrollaron trabajos experimentales entre 1782 y 1783, lo que resultó en la memoria sobre calorimetría. Su explicación dictaba que en el proceso de fusión del agua la temperatura permanece constante, lo cual se debía al calor específico que tenían las sustancias, esto permitía medir la cantidad de calor desprendido en la combustión e, incluso, caracterizó la respiración como una combustión muy lenta, parecida a lo que ocurría con el carbón; en tal sentido ocurría en el pulmón y explicaba que el calor liberado por la combinación del aire puro (oxígeno) con la base del aire fijo (carbono) se repartía por todas las partes del animal.

Con apoyo de los trabajos de Laplace y luego de Meusnier logró descomponer el agua y probar que esta no era un elemento, sino un compuesto formado por oxígeno y el principio inflamable acuoso en relación volumétrica aproximada de 1: 2, a partir de este trabajo refutó la idea que concebía el gas inflamable como flogisto. Pellón (2002) menciona que Lavoisier usaba instrumentos tan sofisticados que sus contemporáneos tenían dificultades para verificar los resultados que obtenía. Gastó mucho dinero en dotar su laboratorio de los mejores equipos y materiales para alcanzar importantes mediciones experimentales. Por ejemplo, cuando intentó medir la cantidad de oxígeno que se desprendía de la cal de plomo (óxido de plomo) diseñó una retorta hermética de hierro y cuidó su fabricación para realizar el experimento con la mejor exactitud posible, superando las dificultades técnicas del uso de retortas de vidrio habituales.

Según Pellón (2002), a partir de la evidencia consolidada por Lavoisier y sus seguidores, en 1783 presentó su trabajo ejemplar “Reflexiones sobre el flogisto”, en el cual refutó la teoría del flogisto. Sus estudios continuaron progresando y propuso un sistema de nomenclatura para las sustancias caracterizadas hasta el momento, además planteó la idea de ecuación química para representar las reacciones que había estudiado ampliamente sobre calcinación de metales, combustión, respiración, descomposición y síntesis de agua, entre otras, que sentaron las bases teóricas y

experimentales para el surgimiento de la química en la medida de campo científico de investigación que estaría a la altura de los desarrollos de otras áreas, como la física.

El nacimiento de la química como campo científico refleja claramente que las controversias en la historia de las ciencias son esenciales para su propia emergencia, e incluso, después del recuento hecho, la lucha por la legitimidad de la autoridad científica continuó en disputa por unos años, pues el prestigio de la nueva teoría tuvo que consolidarse con el apoyo de otros investigadores que gozaran de buena reputación. En este sentido, para retomar los planteamientos de Gago (1982), entre 1785 y 1787, importantes químicos franceses, como Berthollet, Fourcroy y Guyton de Morveau aceptaron la nueva concepción teórica de Lavoisier y contribuyeron con su desarrollo. Igualmente, Bertomeu y García (2006) referencian una carta escrita por Joseph Black —uno de los prestigiosos académicos que se adhería a la teoría del flogisto— en la que menciona Lavoisier tenía la razón. No obstante, este nuevo campo de investigación científica siguió constituyéndose con tensiones y disputas por la autoridad. Por ejemplo, la teoría de Lavoisier sobre la formación de ácidos fue cuestionada, pues él afirmaba que todos los ácidos tenían oxígeno y, por tanto, ese carácter ácido se debería a este elemento, lo cual fue refutado posteriormente por el propio Berthollet; quien posteriormente demostró que esto no era así, pues el ácido prúsico (cianhídrico) no contenía oxígeno.

Para seguir pensando: *Científicos en el ring*

A partir de la obra *Científicos en el ring: luchas, pleitos y peleas en la ciencia*, de Juan Nepote, seleccione algunas de las siguientes controversias y profundice a partir de un análisis histórico, epistemológico y sociológico en las disputas que se constituyeron por ganar autoridad y prestigio científico. Analice el capital social y simbólico que fueron configurando los diferentes personajes o agentes involucrados. Estudie los intereses

involucrados y los procesos de institucionalización social que llevaron a cabo para generar beneficios o perjuicios a la humanidad.

- ▶ Gottfried Wilhelm Leibniz versus Isaac Newton por la invención del cálculo.
- ▶ Thomas Alva Edison versus Nikola Tesla por la invención de la corriente alterna.
- ▶ Alfred Russell Wallace versus Charles Darwin por la teoría de la evolución.
- ▶ Louis Pasteur versus Félix Archimède Pouchet por la teoría de los gérmenes.
- ▶ Niels Bohr versus Erwin Schrödinger por la mecánica cuántica.

Polémicas sociocientíficas y ambientales

La ciencia moderna como campo de investigación constituido con una autonomía relativa y con el establecimiento de relaciones de poder entre sus agentes participantes, quienes pugnan por la autoridad y el prestigio científico, estableció desde sus orígenes un punto de vista filosófico y sociológico, una tensión relevante sobre la comprensión de la naturaleza que constituye su preocupación de estudio. Una mirada crítica a la emergencia de la ciencia moderna muestra la instrumentalización de su carácter emancipatorio que la investía a través de la razón y la búsqueda de la verdad. El cuestionamiento de la autoridad hegemónica de los destinos humanos gobernados por los fines del pensamiento religioso y escolástico que dominaban todas las esferas de la vida humana, así como la subordinaban a los destinos divinos, se fue abriendo camino con potentes explicaciones sobre el funcionamiento de la naturaleza.

En tal virtud, en este capítulo se analiza la manera en que la racionalidad técnica es común a la concepción positivista de la ciencia y al origen de la crisis ambiental. La instrumentalización de la razón científica está directamente relacionada con el progreso social y crecimiento económico capitalista que está en la base de la crisis civilizatoria de Occidente.

Teoría crítica sobre la instrumentalización científica y emergencia de la crisis ambiental

El programa de investigación liderado por Galileo implicó un gran cuestionamiento al pensamiento escolástico dominante de la época, que abogaba por una concepción geocéntrica en la cual la tierra era el centro del universo y la creación perfecta de Dios, contrariamente a los estudios provenientes de la tradición copernicana que postulaban un punto de vista heliocéntrico. Como fue expuesto en el primer capítulo de este libro, Galileo fue perseguido y encarcelado por las autoridades eclesiásticas como retaliación a la divulgación de sus ideas que comenzaron a considerarse subversivas y contrarias al orden dominante. La ciencia era percibida como un pensamiento revolucionario y libertador de los mandatos divinos; sin embargo, su irrupción comenzó a afianzar una forma de dominación del ser humano sobre la naturaleza, lo que dio paso a un objeto de manipulación, control y dominación que contribuyó a su desprecio y a la emergencia de lo que hoy conocemos como crisis ambiental. La crisis ambiental se caracteriza por la ruptura profunda del ser humano con la naturaleza, es decir, con el establecimiento del paradigma dominante antropocéntrico y, en la versión inicial, patriarcal. Ahora, hombres y mujeres promueven esta ruptura al desprenderse de su propia identidad natural y despartarse del conjunto de relaciones que establecen con los organismos en el planeta. Horkheimer y Adorno (1998) presentaron en su análisis crítico acerca de la instrumentalización técnica de la ciencia. En él, reflexionan sobre el desprecio, como es considerada la naturaleza por la ambición subyacente a la lógica de subordinación impuesta para hacer posible el nuevo conocimiento científico, que se torna contradictorio con su propio proyecto de liberación a través de la razón. Ahora bien, este dominio de la naturaleza se instala con el pensamiento patriarcal que caracteriza a la ciencia, lo cual no cambia con el desarrollo de la sociedad burguesa porque mantiene a la mujer en un lugar de subyugación ahora vestido de una pieza de adorno propia de la industria cultural.

Por su parte, Adorno y Horkheimer (1985) plantearon que el pensamiento europeo en el proceso de emancipación promovido por la ilustración no escapó del desprecio hacia la naturaleza, representado por ellos como el dominio del animal, ya que la dignidad humana tuvo lugar con la idea de la irracionalidad humana. Es decir, la diferenciación entre el ser humano y la naturaleza es una condición indispensable para que la humanidad se confiera cualidades especiales que le hacen señor o patrón de aquello que es visto como salvaje y que es necesario domesticar. Esa fragmentación entre humano y naturaleza (animal), según los autores, está en las raíces mismas de los antiguos judíos, estoicos y padres de la iglesia, continuado a lo largo de la Edad Media y, posiblemente fortalecido en la Edad Moderna, que se arraiga con la concepción antropológica del pensamiento occidental o eurocéntrico.

El conductismo en la psicología, que emulaba un carácter positivista de la investigación científica, promovía la tortura a los animales justificándose en los beneficios antropocéntricos para comprender y transformar el comportamiento humano. Lo mismo puede pensarse de la experimentación con animales, una práctica ampliamente controvertida en nuestros días. El dolor animal no tiene contemplación y se naturaliza como algo necesario en la ciencia moderna. En suma, la naturaleza se transforma en objeto, lo que quiere decir que se cosifica para estudiarse sin necesidad de otorgar ningún valor humano más allá de la propia instrumentalización que sufre. La instalación de la contradicción entre humanos y naturaleza como parte del pensamiento antropocéntrico y, por lo tanto, eurocéntrico es descrito elocuentemente por Horkheimer y Adorno (1998):

El hombre actual, al hacer violencia al animal, prueba que él, y sólo él en toda la creación, funciona —libremente— con la misma ciega y automática mecanicidad que los movimientos convulsivos de las víctimas encadenadas, que el técnico utiliza para sus fines. El profesor ante la mesa de disección los define científicamente como reflejos; el adivino los había proclamado ante el altar como signos de sus dioses. Al hombre pertenece la

razón que transcurre sin piedad; el animal, del que extrae sus sanguinarias conclusiones, no tiene más que el terror irracional, el instinto de la fuga, que le es impedida. (p. 291)

Desde los orígenes del ser humano en las sociedades primitivas el instinto de dominio y control de la naturaleza hace parte de su idea de progreso. La caza de animales y luego la domesticación, al igual que el uso de la madera para generar fuego, así como la extracción de materiales para la producción de herramientas, ilustran ese proceso de superioridad visto como racional, empero con el paso de los siglos, se torna cada vez más irracional e insostenible. Esto no pretende significar que la humanidad está condenada a destruir la naturaleza, sino que hace parte del proceso civilizatorio, especialmente de occidente, que debe analizarse y pensarse críticamente para construir otro tipo de relaciones con ella; a la manera de gran parte de nuestros pueblos ancestrales, los cuales abarcan otro tipo de relaciones que pueden rescatarse.

La irracionalidad otorgada a la naturaleza, e inclusive, su asociación con la mujer para menospreciarlas se relaciona con prácticas escolásticas, y después fascistas, en el periodo posterior a la Revolución Industrial, en el que se infundió miedo y alineación colocando máscaras de animales a las propias prácticas humanas de barbarie; es decir, el hombre justifica la crueldad encubriéndolas con el supuesto salvajismo del mundo animal. *Patriarcado y dominio de la naturaleza* son dos conceptos que están relacionados porque ambos retiran de valor y humanidad su existencia y, por lo tanto, justifican prácticas de desconocimiento, exclusión, dominación y explotación. Estos procesos de dominación no cesaron, se reconfiguraron en la sociedad moderna y en el caso de la industria cultural, gestada por la sociedad capitalista, se pueden identificar claramente en cada caso:

La burguesía ha confiscado a la mujer la virtud y la moralidad como formaciones reactivas de la revolución matriarcal. La mujer misma ha obtenido, para toda la naturaleza explotada, la incorporación al mundo

del dominio, pero sólo como quebrada. Sometida, en su sometimiento espontáneo refleja al vencedor su victoria: la derrota como entrega, la desesperación como alma bella, el corazón ofendido como pecho amante. (Horkheimer y Adorno 1998, p. 294)

Los fundadores de la escuela de Frankfurt propusieron el concepto de *industria cultural* para referirse a la producción en masa de productos culturales en la sociedad capitalista que retiran el contenido formativo que históricamente caracterizó a la cultura. Esto significa que la cultura sufre un proceso de mercantilización que debe venderse y ajustarse a grandes audiencias generando un placer momentáneo y efímero que nunca es satisfecho y requiere su adquisición indefinida (Adorno, 1996). Tal es la lógica alienante de la industria cultural para perpetuarse y llenar los vacíos generados por la explotación capitalista. Uno de los mejores ejemplos de esta industria está representada en la producción de películas de Hollywood y en la producción en masa de revistas y periódicos de farándula.

La industria cultural también reproduce la concepción patriarcal descrita y el proceso de dominación sobre la naturaleza. Hasta en sus mecanismos sofisticados logra convencer a las audiencias de la pasiva aceptación del miedo atribuido a lo salvaje que hay que domesticar para investir de dignidad humana a la sociedad consumista. En las historias de niños se deja sobrevivir la herencia medieval de los cuentos en los que el ser humano adopta formas de animales como experiencia de castigo que deben liberarse por un príncipe o una princesa. La naturaleza es investida de oscuridad, salvajismo, fuerza bruta y maldad, así se justifica la superioridad humana, presentada como salvadora, bondadosa y esculpida de autoridad, para ejercer la maldad justificada sobre lo que no es digno de sus propias invenciones. La racionalidad instrumental de la industria cultural podría tener los mismos efectos desafortunados de la instrumentalización de la ciencia en su versión neopositivista o empírico-analítica, como es caracterizada por la teoría crítica:

La industria cultural posee un canon exacto fuera de sí misma, al que se atiene igual que la ciencia: el hecho. Las estrellas de cine son expertos, sus actitudes son protocolos de comportamiento natural, tipos de reacción; los directores y los libretistas preparan modelos para comportamientos adaptados. El trabajo de precisión de la industria cultural excluye la deformación como mero error, como azar, mala subjetividad y naturaleza. [...] El amor sublime se encendía ante la manifestación de la fuerza a través de la debilidad, ante la belleza de la mujer; los amos, por el contrario, se inclinan directamente ante la fuerza: el ídolo de la sociedad es hoy el rostro noble y anguloso del varón. La mujer sirve para trabajar, para procrear, o bien, si es presentable, aumenta el prestigio del marido. (Horkheimer y Adorno, 1998, p. 297)

Las raíces de las problemáticas ambientales son discutidas ampliamente por autores como Enrique Leff, autor que incorpora en sus trabajos aportes de la teoría crítica de los frankfurtianos y que, al igual que el análisis crítico esbozado sobre la ruptura del ser humano y la naturaleza, considera que la crisis ambiental, es una crisis de la civilización occidental y de su racionalidad instalada en la modernidad, así como de la economía del mundo globalizado. En este orden de ideas, la problemática ambiental surge como una crisis de la civilización occidental, y de la propia instrumentalización de la modernidad y de la ciencia:

La crisis ambiental irrumpe en el momento en el que la racionalidad de la modernidad se traduce en una razón *antinatural*. No es una crisis funcional u operativa de la racionalidad económica imperante, sino de sus fundamentos y de las formas de conocimiento del mundo. La racionalidad ambiental emerge así del cuestionamiento de la sobreeconomización del mundo, del desbordamiento de la racionalidad cosificadora de la modernidad, de los excesos del pensamiento objetivo y utilitarista. (Leff, 2004, p. X)

Establecemos un punto en común entre emergencia de la crisis ambiental con el nacimiento de la ciencia moderna y la tesis de progreso,

que busca controlar y dominar la naturaleza, como fue defendido ampliamente por el empirismo y el tecnicismo promovido por Francis Bacon —férreo defensor de la revolución científica encarnada en los trabajos de Copernico, Kepler, Galileu, Newton— y muchos pensadores de la época. Asimismo, el racionalismo de René Descartes instala la fragmentación entre objeto y sujeto que rigió el método de la ciencia, y que despojó de cualquier tipo de vitalidad o subjetividad a la naturaleza que se objetiva y se cosifica para ser estudiada.

Además, la revolución burguesa irrumpió en el transcurrir del pensamiento iluminista e ilustrado que se gestaba desde el siglo XVI y que llegó a su máximo esplendor en el siglo XVIII con la defensa plena de la razón como fin mismo de la sociedad occidental. El cuestionamiento del poder monárquico y eclesiástico y el nacimiento del nuevo mito que constituye la confianza al progreso y bienestar a partir de los avances científicos y técnicos. Según Rech (2017) este proceso de ilustración se vinculó con la ideología del progreso racional con ideas liberales del capitalismo en la lógica del libre mercado, la democracia liberal y el abandono progresivo de preceptos culturales, sociales y morales fundamentados en la religión escolástica. El autor realiza un análisis profundo de la crisis ambiental basada en la teoría crítica para evidenciar que es necesario construir una nueva forma de pensamiento que reconcilie la fragmentación entre sociedad occidental y naturaleza, para lo cual es esencial recuperar la historia de la crisis que busca respuestas orientadas a un proceso de emancipación que no solo sería humana en cuanto liberación de los nuevos mitos instalados en la modernidad, sino sobre todo la libertad de la naturaleza reprimida.

El análisis crítico sobre la emergencia de la ciencia moderna y la crisis ambiental fundamenta la conceptualización de controversias o cuestiones no solo sociocientíficas, como fue discutido en los dos primeros capítulos de este libro, sino ambientales, las cuales constituyen una categoría teórica para la enseñanza de las ciencias relevante en cuanto abarca aspectos históricos, filosóficos y sociológicos importantes para entender el origen

de gran parte de los problemas ambientales que enfrentamos en nuestras sociedades se heredaron a la fuerza por imposición del pensamiento occidental.

Para profundizar el análisis de las controversias o cuestiones socio-científicas y ambientales (CSCA), en el siguiente apartado se establece un diálogo significativo con autores recientes de la educación en ciencias y la educación ambiental que han propuesto un punto de vista crítico sobre problemas sociales y educativos que enfrentamos como países latinoamericanos rescatando nuestras propios desarrollos pedagógicos y didácticos.

Educación ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) para el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales

La educación CTSA es una propuesta pedagógica y didáctica para la educación en ciencias que se ha construido tanto en el ámbito europeo, norteamericano y suramericano desde la década de 1960 para transformar la enseñanza tecnicista, mecanicista y reduccionista de las ciencias naturales centrada estrictamente en los contenidos de las disciplinas, tales como la química, la física, la biología y las ciencias de la tierra con una evolución teórica y práctica. Su propuesta contiene una enseñanza humanística, crítica y transformadora, en contravía con la enseñanza elitista y tecnocrática, cuestionando su *status quo*, para dar paso a procesos formativos para todos y todas en espacios formales escolares como no formales. Mediante esta acción busca contribuir con la formación de ecociudadanías empoderadas con conocimientos, capacidades, actitudes y valores que orienten la toma de decisiones responsables y el desarrollo de acciones sociopolíticas sustentables.

Según Martínez (2022), la educación CTSA desde el punto de vista latinoamericano resalta la dimensión política de la formación en ciencias como un proceso académico que posibilita el acceso libre y democrático de la población a la ciencia y la tecnología para construir soluciones a

problemas propios sobre producción de alimentos, generación de energías renovables y limpias, movilidad y saneamiento de calidad, entre otros ámbitos, que se enmarcan en prácticas responsables y respetuosas con la naturaleza.

Al revisar la producción académica en enseñanza de las ciencias que circula en revistas indexadas por Publindex Colombia entre el 2015 y el 2020, identificamos investigaciones interesantes sobre la articulación de la educación CTSA con el pensamiento de Paulo Freire (Martínez y Suárez, 2024a). Por ejemplo, Barbosa *et al.* (2018) destacan la dimensión de la *praxis* propuesta por Paulo Freire como reflexión-acción crítica y transformadora sobre la realidad, a manera de categoría central de la Educación CTS(A). Con ello, se pretende promover procesos de interdisciplinariedad que auxilie con la formación ciudadana de estudiantes de educación básica y media a partir de procesos de alfabetización científica y tecnológica crítica, que fomenta la participación en el mundo del trabajo sin reproducir procesos de alineación y dominación, sino que posibilite la realización y emancipación humana.

La *praxis* freiriana hace parte de una concepción ontológica crítica del ser humano, que lo considera en permanente evolución y transformación, sobre la base de las relaciones que establece con el mundo a través del lenguaje y la problematización, al igual que en la búsqueda de la superación de la educación bancaria que reproduce relaciones de opresión. En este sentido, Silva *et al.* (2018) proponen la educación CTSA para futuros profesores de química como un proceso formativo fundado en un estudio de caso sobre afectación de cultivos de caña de azúcar, caracterizando mayoritariamente narrativas que contienen relaciones entre contenidos científicos, cuestiones ambientales y sociales.

Melo *et al.* (2024) realizan un análisis de los fundamentos de la pedagogía libertadora de Paulo Freire y sus aportes a la educación CTSA para el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica

educativa. En este ejercicio resaltan la problematización de la realidad como el elemento común que orienta la estructuración de estrategias formativas para la educación en ciencias con el propósito de construir posicionamientos críticos que sustentan el desarrollo de acciones socio-políticas éticas en el estudiantado. Melo *et al.* (2024, p. 10) sintetizan estas relaciones en cinco aspectos estructurales de la pedagogía freiriana y su relación con la educación CTSA para abordar la CTSA.

El primer aspecto hace referencia a la concepción ontológica de la pedagogía libertaria que considera la naturaleza humana como inconclusa y en permanente construcción. De tal manera, en el terreno de la educación en ciencias abarca el reconocimiento de los intereses y valores éticos de los actores sociales frente a diferencias de opinión y acción, con la perspectiva de construir acuerdos basados en relaciones democráticas y justas.

El segundo aspecto hace alusión al reconocimiento de mujeres y hombres como seres históricos y sociales; por lo tanto, la problematización de la realidad tiene un pasado, un presente y un futuro, es situada al sistema de creencias y valores de una determinada época que está en mudanza constante y, consecuentemente, no tiene lugar para procesos de naturalización o cosificación del orden establecido que puede configurarse como inmutable desde las concepciones bancarias de la educación. Este carácter histórico también se evidencia en la educación CTSA en la participación de los estudiantes y profesores en las CTSA para comprometerlos con su época y con la construcción de otras relaciones de futuro.

El tercero y cuarto aspecto referido al ser de relaciones y a la curiosidad epistemológica, puede tratarse articuladamente en la educación CTSA cuando se analizan controversias como la crisis climática, ya que la formación de los estudiantes involucra un proceso de investigación sobre los puntos de vistas de los actores participantes, de acuerdo con documentos gubernamentales, políticas y normas nacionales e internacionales, así como informes científicos y ambientales. Además de indagar sobre los procesos

de movilización social emprendidos por organizaciones sociales y comunitarias en sus territorios, todo esto desencadena aprendizajes participativos y colaborativos que constituye el quinto y último aspectos analizado por Melo *et al.* (2024), lo cual favorece la toma de decisiones responsable y el desarrollo de acciones sociopolíticas sustentables.

Las investigaciones desarrolladas en el grupo de investigación Alternancias en los últimos veintidós años dan cuenta del abordaje de CTSA en la práctica del profesor fundamentada en la educación CTSA y la pedagogía freiriana (Martínez y Suárez, 2024b). Se destacan las propuestas de enseñanza de las ciencias y la formación de profesores por medio de la adaptación de los momentos pedagógicos propuestos por Paulo Freire en la investigación temática: problematización, organización del conocimiento y aplicación del conocimiento en la perspectiva de contribuir con el desarrollo de acciones sociopolíticas sustentables.

De acuerdo con la perspectiva freiriana, las investigaciones del grupo Alternancias proponen el abordaje de la covid-19 como las CSCA (Martínez, 2021; Ortigón *et al.*, 2020), aportando con una enseñanza problematizadora y dialógica de las ciencias que favorece el cambio didáctico en el aula y contribuye a la construcción de currículos de ciencias contextualizados y transformadores. En la dinámica investigativa de este grupo, Beltrán y Martínez (2014) proponen el abordaje crítico de las controversias sobre el uso industrial y agrícola del agua de los vallados existentes en el municipio de Cajicá, Colombia, el líquido, proveniente del río Bogotá con altos niveles contaminación, suscita el cuestionamiento al proceso del riego de las hortalizas. En este caso, se favoreció la argumentación en estudiantes de educación básica secundaria como parte del desarrollo de pensamiento crítico, que requiere amplios periodos de intervención con propuestas contextualizadas.

Otros trabajos realizados en Colombia tratan puntos la producción y comercialización de semillas transgénicas como las CSCA, la cual es

abordada con estudiantes de educación básica secundaria como parte de la enseñanza de temas de biotecnología. Su desarrollo inmiscuye los riesgos existentes para la biodiversidad y las consecuencias ambientales de la implementación de estas semillas en la agricultura campesina (Espinel, 2021).

Conrado y Nunes-Neto (2018) proponen una estructura didáctica para abordar las CSCA basadas en la educación CTSA, la cual representa una herramienta interesante para que los profesores de ciencias planeen su trabajo a partir de la caracterización de controversias contemporáneas o históricas, por medio del planteamiento de preguntas orientadoras que favorezcan la argumentación y potencialicen el aprendizaje conceptual, procedimental y actitudinal (CPA) de los estudiantes de educación básica y media. Al abordar las CSCA de acuerdo con esta estructura, los profesores pueden favorecer la alfabetización crítica de sus estudiantes, en cuatro niveles de complejidad y tres estadios de desarrollo cada uno. En el primer nivel y estadio se parte de la comprensión de pocas relaciones entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente, se pasa por identificar algunos beneficios de estas relaciones conforme una visión salvadora, para dar paso a la identificación de impactos socioambientales de la ciencia y la tecnología (C&T) hasta constituir complejas relaciones de interdependencia cultural entre CTSA.

En un segundo nivel, se logra reconocer la influencia de intereses y de relaciones de poder en el desarrollo científico y tecnológico, pasando por los estadios de neutralidad, identificación de intereses de determinados grupos sociales y reconocimiento de actividades científicas y tecnológicas que ocurren de acuerdo con beneficios para algunos a costa de otros.

En un tercer nivel, se logra abordar la capacidad para abordar críticamente las CSCA explicitando valores específicos para emitir juicios éticos, para esto se parte de un estadio básico en el que no se logran identificar los valores involucrados en las controversias, pasando por mencionarlos tangencialmente, hasta lograr explicitar contradicciones

entre determinados juicios de valor y razonamientos éticos sólidamente justificados.

En el cuarto y último nivel propuesto por Conrado y Nunes-Neto (2018) se hace alusión al desarrollo de capacidades para la toma de decisiones y el desarrollo de acciones sociopolíticas responsables. Con tal propósito, se inicia en un estadio básico de estructuración de toma de decisiones, para avanzar a considerar los pros y contra de estas en el intento de lograr situar acciones coherentes con conocimientos, valores y principios éticos.

Para analizar la implementación de la estructura didáctica propuesta por los autores citados anteriormente, Boas *et al.* (2024) realizan un estudio sobre tres secuencias de enseñanza realizadas por profesores de ciencias en un curso de formación continua, caracterizando estos ejercicios más próximos a zonas de bajo conflicto que a zonas de alto conflicto social, tal como es propuesto por Simonneaux (2014). Aunque las secuencias de enseñanza se sitúan en zonas de menos conflicto social, los objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales propuestos posibilitan la formación ciudadana crítica y el desarrollo de acciones sociopolíticas responsables. El artículo resalta el abordaje en una secuencia de enseñanza propuesta por los profesores sobre el rompimiento de la represa de Fundão que ocurrió en la cuenca del río Doce en el Estado de Minas Gerais, Brasil, constituyendo un desastre ambiental importante de este país porque implicó el flujo de más de sesenta millones de metros cúbicos de agua con carga de hierro que dejó sin abrigo a más de seiscientas personas, destruyó cultivos y los causes hídricos de la cuenca del río. La segunda secuencia trató sobre las controversias existentes frente al desperdicio de alimentos versus los problemas de hambruna que se viven en algunos sectores de la población brasileña. La tercera secuencia abordó las diferencias de opinión frente al uso del alcohol en gel en el combate del contagio del coronavirus que genera la covid-19. Boas *et al.* (2024) concluyen al finalizar su análisis que se inicia un proceso de alfabetización científica crítica que implica promover la formación de estudiantes responsables y capaces

de dialogar críticamente en diferentes esferas públicas para actuar en favor de un futuro más justo con la naturaleza.

Además de la educación CTSA como referente teórico y metodológico para el abordaje de las CSCA en la práctica docente, la educación ambiental también constituye otro referente relevante que es necesario analizar para vislumbrar sus importantes aportes en un ejercicio interdisciplinario. En Martínez (2024a) se propone un análisis histórico para contrastar la emergencia, desarrollo y consolidación tanto de la educación CTSA como de la educación ambiental, rescatando como elemento común las potencialidades pedagógicas y didácticas de la sustentabilidad ambiental en el abordaje de las CSCA. En la figura 1 se representan estas relaciones históricas.

La preocupación por los problemas ambientales está presente tanto en la educación CTSA como naturalmente en la educación ambiental, desde un punto de vista didáctico, puede tratarse en las prácticas de los profesores en el abordaje de las CSCA específicas. Desde el 2006 hasta la actualidad las publicaciones hechas por el grupo Alternaciencias dan cuenta del abordaje de controversias sobre la fumigación de glifosato para la erradicación de cultivos ilícitos, la exploración minera legal e ilegal, la producción y uso de biocombustibles, la privatización del agua, el tráfico ilegal de especies, como la rana dorada, y recientemente las causas e impactos ambientales de la pandemia causada por la covid-19, son claros ejemplos del tratamiento de estas cuestiones más allá del punto de vista conceptual, procedimental y actitudinal, demandan un trabajo complejo, pluridiverso y crítico de aspectos sociales, económicos, políticos, éticos y culturales, como es propuesto en la educación ambiental crítica.

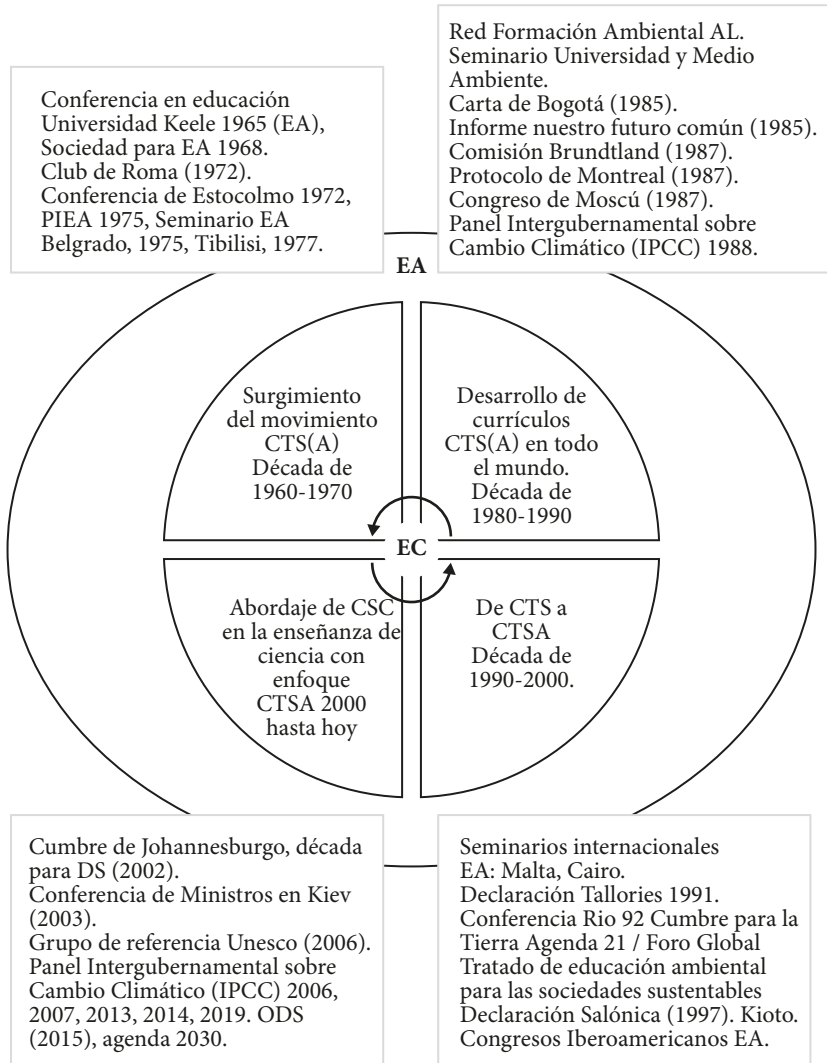


Figura 1. Etapas de la evolución histórica de la enseñanza de las ciencias (EC) con enfoque CTSA en contraste con el marco político y normativo del desarrollo histórico de la educación ambiental (EA)

Fuente: Martínez (2024a, p. 314).

Educación ambiental crítica para el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales

Aunque la educación ambiental y la educación CTSA constituyan áreas de trabajo autónomas, pueden configurarse importantes articulaciones en cuanto a propósitos, principios, perspectivas epistemológicas y pedagógicas comunes. En primer lugar, el horizonte de sentido de estas dos concepciones educativas coincide en aportar al ensamble de sociedades justas y democráticas que respeten los sensibles equilibrios ecológicos de la naturaleza. En tal sentido, cuestionan los devastadores impactos ambientales del desarrollo económico capitalista, particularmente del modelo neoliberal que se ha adoptado particularmente en Latinoamérica. Luz *et al.* (2020) analiza el discurso neoliberal que pretende convencer a la población de nuestros países que la iniciativa privada es la mejor propuesta para alcanzar los ideales de democracia, igualdad, solidaridad y sostenibilidad. En atención a esta lógica se promueve el capitalismo verde con la esperanza de que es posible producir todas las mercancías que consumimos actualmente sin generar daños en la naturaleza. En tal virtud, se invierte la evidencia existente sobre el extractivismo en los procesos de producción del capitalismo, que cada vez coloca en mayor peligro todas las formas de vida del planeta. Tanto la educación CTSA como la educación ambiental crítica cuestionan la ideología del progreso y crecimiento ilimitado que se sustenta en la concepción lineal de la ciencia y la tecnología como fuerzas productivas centrales para sostener la producción de innumerables mercancías, bienes y servicios que sustentan los patrones de consumo actuales, que a todas luces se torna insustentable.

El neoliberalismo promueve de forma sistemática y sofisticada el discurso ideológico del desarrollo sostenible, que se basa en la concepción determinista, que el crecimiento económico no puede parar porque este asegura progreso y bienestar para todos y todas. En su lugar, lo que se evidencia es el crecimiento de las desigualdades sociales, especialmente en los países periféricos de Latinoamérica, África y Asia. Según datos de las

Naciones Unidas (ONU) (2023), entre el 2015 y el 2022, a pesar de que la pobreza extrema había disminuido lentamente entre 2015 y 2020, con una tasa media de 0.54 puntos porcentuales, en el 2020 esta tendencia cambió debido a la pandemia y el número de personas que vivían en la extrema pobreza sobrepasó los noventa millones, revirtiendo los pocos avances alcanzados. Lo anterior se agudiza con la crisis climática que también influye en el aumento de la pobreza, lo que significa que, por lo menos, 670 millones de personas continúan viviendo en la pobreza extrema y la previsión para el 2030 es que solo un tercio de los países del mundo habrá reducido su pobreza nacional a la mitad, lo cual da cuenta de la ficción del modelo de desarrollo sostenible como mecanismo para construir sociedades más igualitarias.

De acuerdo con los datos del citado informe de la ONU, los avances más razonables de las metas previstas en relación con los diecisiete objetivos de desarrollo sostenible, se aprecian con la disminución de la pobreza extrema que, como ya vimos, está lejos de alcanzar los porcentajes deseables, ahora bien, con respecto a los demás objetivos, se evidencia un estancamiento que oscila entre el 10 y el 60 % aproximadamente de las metas previstas, evidenciando los peores resultados en el objetivo sobre conservación de vida marina, hambre cero y trabajo decente. En cuanto a la acción por el clima no se aprecian vías para alcanzar las metas, existe un progreso razonable del 60 % y un estancamiento aproximadamente del 25 %.

El *ultraneoliberalismo*, como es caracterizada la doctrina económica extrema de la escuela de Viena y de Chicago, de acuerdo con el análisis de Boff (2021) reafirma el derecho absoluto, universal y hegemónico de la propiedad privada por encima de otros derechos sociales, políticos, económicos y ambientales. El libre mercado de gobernar todas las relaciones sociales y la pobreza no es un problema propio del sistema, sino de la incompetencia técnica de los ciudadanos, así se naturaliza la desigualdad y se concibe como un problema individualista y no como un problema social asociado a las desigualdades e injusticias del capital.

El capitalismo instauro una lógica deshumanizante que supera los límites planetarios por su dinámica extractivista de la naturaleza, no hay lugar para concebir a la Tierra como madre y mucho menos como territorio sagrado, no caben los derechos de la naturaleza porque no se reconocen sus valores intrínsecos; en su lugar, se le considera una cesta de recursos para proveer de bienes y servicios a la sociedad consumista del mercado. En palabras de Boff (2021), la casa común de todos y todas está en peligro de desaparecer con la barbarie del neoliberalismo que prolonga la dependencia y la lógica colonial heredada desde el tiempo de la conquista europea.

A pesar de la fuerte dominación neoliberal del capitalismo, tanto la educación CTSA como la educación ambiental crítica retoman el pensamiento freiriano esperanzador como propuesta pedagógica para construir otros mundos posibles de amorosidad y encuentro profundo entre seres humanos y naturaleza, que ubica eslabones centrales alrededor de los derechos humanos y de la naturaleza; así como los valores de solidaridad, cooperación y fraternidad entre los pueblos como bitácora de viaje para construir otro tipo de prácticas sociales basadas en la sustentabilidad ambiental.

Luz y Prudêncio (2024) realizan un importante análisis tanto bibliométrico, de producción académica en el periodo 2010-2016 de artículos de investigación, como textual, de obras centrales de autores representativos de la Educación CTS(A) y la educación ambiental crítica, para establecer elementos históricos, epistemológicos, axiológicos, teleológicos, políticos, pedagógicos y didáctico-curriculares comunes. De este análisis se destaca la búsqueda de alternativas educativas frente a la crisis ambiental y la repercusión en las políticas públicas. Esto sustentado en pedagogías libertarias que promueven el pensamiento crítico como respuesta a las pedagogías reduccionistas, tecnicistas e instrumentales que propenden por la adaptación y reproducción de la sociedad capitalista y sus mecanismos de mercantilización de la vida.

Desde el punto de vista epistemológico los autores citados apuntan procesos de diferenciación y relación de opciones teóricas de CTSA y educación ambiental, pero no definen un posicionamiento claro al respecto, frente a lo cual podemos considerar que la teoría crítica expuesta por Theodor Adorno, Walter Benjamim, Herbert Marcuse y Jurgen Habermas constituyen un referente común a la educación CTSA de corte crítico (Martínez, 2012), de la misma forma como constituyen un referente para la educación ambiental crítica (EAC) promovida por autores entre los que se encuentra Brügger (1999). Otro referente teórico crítico corresponde a la vertiente marxista que fundamenta la pedagogía histórico-crítica en la Educación CTS(A) (Teixeira, 2003; Firme y Silva, 2024) y la EAC marxista (Maia y Mendes, 2022).

Tanto la educación CTSA como la EAC poseen propósitos comunes en la formación ciudadana, la alfabetización científica y ambiental, el desarrollo de pensamiento crítico y la promoción de una ética socioambiental, que abarca compromiso con valores críticos de justicia y cuestionamiento al desarrollo científico y tecnológico como instrumento del capital, para dar paso a la C&T orientada hacia el buen vivir y la valorización equilibrada entre seres humanos y naturaleza. Estas aproximaciones coherentes, se materializan en la práctica del profesor con el abordaje de diversas CSCA. Ejemplo de ellas son las asociadas a las decisiones políticas y sociales que se deben tomar para revertir los efectos adversos del modelo de desarrollo capitalista en superar los nueve límites planetarios: contaminación química, alteración de ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y el fósforo, uso de agua dulce, pérdida integral de la biosfera, cambio del uso del suelo, cambio climático, acidificación de los océanos, agotamiento del ozono estratosférico y carga de aerosoles atmosféricos (Rockström *et al.*, 2009).

El abordaje de las CSCA en el marco de la articulación entre educación CTSA y la EAC demanda no solo del análisis de las controversias existentes en términos de intereses y disputas establecidas entre los diversos actores sociales, sino, sobre todo, exige la construcción de procesos de negociación

y establecimiento de acuerdos que permitan revertir las problemáticas ambientales y favorecer otras posibilidades de futuro para las sociedades basadas en la sustentabilidad ambiental. Esto va más allá de la interdisciplinariedad y multidisciplinariedad de tradiciones académicas occidentales progresistas para potencializar el diálogo de saberes, entendido como el encuentro entre diferentes seres culturales y entre diversas cosmovisiones para trascender el mundo dominado por la tecnoeconomía para dar paso a construcción de territorios basados en la diversidad, diferencia y otredad (Leff, 2025).

De acuerdo con las consideraciones anteriores, en seguida se analizará la cuestión sociocientífica y ambiental sobre el uso de pesticidas en la agricultura para evidenciar particularmente el establecimiento de complejas relaciones entre aspectos sociocientíficos y ambientales en pro de constituir nuevos referentes educativos, así como fortalecer la práctica de los profesores de ciencias y educadores ambientales al depararse con estas cuestiones en su trabajo pedagógico y didáctico.

El uso de pesticidas en la agricultura como cuestión sociocientífica y ambiental

Uno de los episodios históricos que hace referencia al origen del movimiento ambientalista, está constituido por la controversia histórica del uso de pesticidas en la agricultura en los Estados Unidos, que luego se extendió a todo el continente americano y a otras regiones del mundo, como África, Europa y Asia. Se trata específicamente del uso del DDT sintetizado en 1939 por el químico Paul Hermann Müller, quien ganó el Nobel de medicina en 1948 por crear esta sustancia para su uso como insecticida, muy eficaz para combatir insectos que afectaban la producción de alimentos y, posteriormente, para erradicar vectores transmisores de graves enfermedades, como la malaria o el dengue.

Según Lavilla (2019) el DDT fue usado ampliamente en Estados Unidos y otros países del mundo por más de veinte años por su efectividad para combatir insectos. Los bajos costos de su producción favorecían su propagación. La controversia sociocientífica y ambiental sobre el uso del DDT surgió a mediados del 1960 con los cuestionamientos públicos expuestos por Raquel Carson en su libro *Primavera silenciosa*, que constituyó un desafío para las empresas productoras del insecticida y los gobiernos que las apoyaban, ya que generaron campañas de desprestigio del trabajo de la bióloga Raquel Carson, atacándola por carecer de “evidencias científicas” que sustentaran sus críticas.

La controversia giraba en torno al uso o prohibición del DDT de forma extendida en la agricultura y para el control de insectos, que podría destruir los cultivos o que podría portar enfermedades, por ejemplo, en la Segunda Guerra Mundial se usó para el control de piojos en las tropas. Luego se justificaba su uso para eliminar o controlar insectos causantes de enfermedades, como la fiebre amarilla. Los medios de comunicación también participaron en la controversia y todo esto desencadenó puntos de vista a favor o en contra por parte de los ciudadanos, quienes tendrían que decidir qué hacer frente al uso del DDT, apoyar su uso masivo o exigir mecanismos de prohibición.

Carson (1969) logró escribir un bello texto acerca del alcance de todos los ciudadanos y ciudadanas para explicar los efectos nocivos del uso masivo de pesticidas. Inicia su obra narrando la armonía de actividades humanas con la naturaleza en un tiempo de primavera en el que florecen las plantas, las aves retumban por todos los lugares y los seres humanos son felices con la naturaleza. Toda esta descripción romántica cambia y se transforma en sufrimiento y en desolación pues los animales empiezan a enfermar y morir, los pájaros desaparecen y el silencio se extiende a lo largo de campo frustrando la inmensidad de la primavera. Carson busca explicar por qué ocurrió esta situación y para ello explica cómo la

intervención del ser humano altera dramáticamente los procesos naturales a través de la contaminación del suelo, el aire y el agua.

Centra la atención en los elíxires de la muerte que estarían constituidos por pesticidas producidos masivamente en Estados Unidos, fabricados a partir del DDT y otros producidos a base de fósforo orgánico, como el malatión y paratión. Carson denunciaría el peligro del DDT para la naturaleza y para la salud humana, ya que, al absorberse en el cuerpo humano, puede depositarse en los riñones, hígado y en glándulas como la tiroides y las suprarrenales, generando con el tiempo problemas de salud, la afectación puede incrementarse en aquellas personas que tenían contacto permanente con la sustancia, por ejemplo, los agricultores.

Carson cita varios trabajos de investigación realizados por médicos y farmaceutas que reportan diferentes cantidades de absorción del DDT en el cuerpo y en el suelo, alertando que, a través de las redes tróficas, la sustancia se distribuía por todos los ecosistemas y organismos generando efectos adversos. También interroga por la falta de información sobre los posibles efectos cancerígenos de esta sustancia.

Los argumentos de Carson dotados de evidencia científica se mezclan con bellas narrativas sobre el funcionamiento de la naturaleza y su frágil equilibrio. Explica cómo el mantillo o cobertura orgánica del suelo forma un complejo sistema vivo que resguarda la vida de muchos organismos: bacterias, hongos e insectos que hacen posible que exista un suelo apto para la agricultura. Resalta el papel de las lombrices para la producción de humus y cita para esto el trabajo de Darwin sobre tal proceso, destaca las complejas tramas de la vida que pueblan el suelo y que se verían gravemente afectadas por el uso de pesticidas. El mantillo, junto con la cobertura vegetal y el agua establecen otro sistema para sustentar la vida animal del planeta, estas interacciones pueden deteriorarse o enfermarse por los elíxires de la muerte.

Adicionalmente, cuestiona con gran autoridad los argumentos de los entes de gobierno que permiten el uso indiscriminado de los pesticidas, al tiempo que alerta sobre la afectación de los ríos y cuerpos de agua y, con ello, la afectación en la fauna y flora marina. La crítica continúa afilándose mientras que dialoga con los casos de fumigación aérea que se intensifican en grandes áreas de los EUA, frente a las cuales cita un gran número de denuncias por parte de ciudadanos del estado de Nueva York que se ven afectados. La fumigación del veneno sobre los campos atiende las colmenas de abejas cuya población disminuye dramáticamente. Las promesas de los defensores del DDT de erradicar los insectos que causan daños en cultivos se desvanecen después de diez años de uso cuando se observa la resistencia de estos, al insecticida y su crecimiento vertiginoso, es lo que Carson denomina *la naturaleza se defiende*.

Las denuncias hechas por Carson durante la década de 1960 y la puesta en escena de una gran cantidad de estudios que evidenciaban los efectos adversos del uso a gran escala del DDT, puso en jaque a sus defensores, hasta el punto de derrotarlos parcialmente en 1972, cuando se prohibió el uso del peligroso insecticida en Estados Unidos, sin embargo, otros países continuaron empleándolo. Solo hasta finales de la década de 1990, según Lavilla (2019), se logró que más de cincuenta países establecieran su prohibición y la eliminación definitiva se concretó en el 2001, con la firma del convenio de Estocolmo. Gracias a él, en 2004 gobiernos de 134 países se comprometieron a prohibir la producción y uso de DDT, exceptuando aquellos países que lo emplean para el control de vectores de transmisión de enfermedades bajo el seguimiento de recomendaciones y orientaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Claramente la controversia, que se extiende por más de 40 años, sobre el uso o la prohibición del DDT no cesa y aún existen discusiones al respecto, especialmente los productores del insecticida continúan justificando la efectividad del producto para prevenir la muerte de millones de personas por causa de paludismo y tifus. El argumento central de los

defensores del uso del DDT se centra en controlar los insectos, que son vectores de la malaria y, según ellos, en Europa gracias al insecticida se logró la erradicación de la enfermedad. En el caso de América Latina se realiza una comparación del avance de la malaria en 1930, 1970 y 2011, evidenciando que en el periodo que se generó la prohibición del insecticida, la enfermedad se disparó y desencadenó muertes, lo que justificó su uso por recomendación de Arata Kochi, quien era el director del *Programa Global* contra la malaria de la OMS en 2006 (Latingua, 2006). Para ese año, aunque el uso del DDT estaba prohibido, diez países africanos continuaban empleándolo para controlar los insectos vectores de la malaria. Dentro de los propios funcionarios de la OMS se generó controversia por la recomendación de reactivar el uso del DDT en determinados casos, generando incluso renuncias dentro de la organización.

Para seguir pensando: el glifosato, amenaza para las comunidades y la naturaleza

En la siguiente lectura se ofrece una reflexión sobre el impacto ambiental de la aspersión aérea de glifosato en cultivos ilícitos. A partir de ella, proponga un análisis crítico y proponga una alternativa para superar esta problemática con base en la sustentabilidad ambiental.

El glifosato, amenaza para las comunidades y la naturaleza

Publicado en *El Espectador*, 15 de marzo de 2019.

Leonardo Fabio Martínez Pérez

Nuevamente se abre la polémica sobre la activación del Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos con Glifosato, a raíz de la audiencia pública del 7 de marzo del presente año, realizada por la Corte Constitucional, en la cual el presidente Iván Duque pidió a este tribunal moderar los términos como fue concebida la sentencia T236 de 2017 (Corte

Constitucional República de Colombia, 2017). Dicha sentencia limitó las aspersiones con glifosato en áreas rurales en las que habitan comunidades indígenas y campesinos, basados en el principio de precaución por constituir una práctica que puede poner en riesgo la salud, la vida y el ambiente sano al cual tienen derecho dichas comunidades.

El mandatario de la República desde septiembre de 2018 comenzó a realizar declaraciones públicas sobre la necesidad de retomar las aspersiones con glifosato, según él, respetando la sentencia de la corte constitucional a través de una fumigación controlada que no afecte el ambiente y la vida de las comunidades. De regresar las aspersiones aéreas, así sea con las precauciones técnicas del caso, estaríamos retrocediendo en términos de la construcción de una política sustentable que hace énfasis en los derechos de la naturaleza y de las comunidades de contar con un ambiente libre de sustancias químicas artificiales que contaminan el agua, el aire, el suelo e impactan notablemente el equilibrio ecológico de los ecosistemas. Desde finales de la década de 1970 comenzó la aspersión aérea con glifosato, un herbicida que bloquea la actividad de una enzima presente en cualquier planta, desencadenando su muerte progresiva. La discusión sobre este tema en nuestro país ha girado alrededor de aspectos socioambientales, políticos y jurídicos que llaman la atención de todos los ciudadanos. Los impactos en el medio ambiente y en la salud, han sido denunciados sistemáticamente por las comunidades indígenas, que desde el principio cuestionaron el uso del herbicida en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la serranía del Perijá en la década de 1980, la medida polémica, pese a los cuestionamientos, se extendió a lo largo del tiempo y del país. Las denuncias de nuestros ancestros y campesinos continuaron en los departamentos del Putumayo del Meta, Guaviare, Caquetá y Nariño que vieron afectada la salud de sus comunidades con enfermedades cutáneas y respiratorias, además de perder sus cultivos y observar un deterioro de la biodiversidad.

La razón política de los distintos gobiernos para mantener y desarrollar las aspersiones aéreas con glifosato, ha obedecido a presiones externas,

especialmente a la ejercida por Estados Unidos, el cual certifica a los países comprometidos con la lucha antidrogas y por el correspondiente crecimiento de los cultivos ilícitos, lesionando de esta manera la soberanía y el derecho de autodeterminación del pueblo colombiano de resolver este complejo problema con propuestas sociales y ambientales que atiendan el abandono de las comunidades en las regiones apartadas del país, contribuyendo a su bienestar con programas de salud, educación y trabajo. Atacar los problemas estructurales asociados a la pobreza y al abandono es uno de los caminos para arrebatar a las comunidades de los intereses del narcotráfico que las usan para sus negocios lucrativos.

Desde el punto de vista ambiental, existen razones técnicas y científicas para reafirmar la prohibición de las aspersiones aéreas con glifosato, pues se trata de un herbicida que por sus propiedades físicas y químicas se disuelve y se absorbe fácilmente, actúa sobre cualquier tipo de planta, atentando contra la vida vegetal tan diversa y rica en nuestros ecosistemas, puede absorberse con facilidad en el suelo afectando la población fúngica y microbiana, de tal manera que afecta las cadenas tróficas de los suelos, rápidamente puede alcanzar los corredores subterráneos de agua contaminándola. De ser ingerido este herbicida por un ser humano, dada la exposición permanente que representan las aspersiones puede ser un factor de riesgo asociado al cáncer, teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud calificó el herbicida como cancerígeno.

Desde el punto de vista legal, las luchas de las comunidades indígenas por la restitución de derechos han sido esenciales para que la Corte Constitucional se pronuncie y constituya la medida de protección para que no vuelva la aspersión de manera inclemente. Como colombianos y ciudadanos del planeta debemos profundizar en el análisis de esta problemática y actuar de manera crítica y responsable solicitando el respeto de los derechos de la Madre Tierra y de nuestros hermanos indígenas y campesinos que son los más vulnerados.

Enseñanza de asuntos sociocientíficos y ambientales (CSCA) en Iberoamérica

En este capítulo se realiza un estado del arte de investigaciones, sistematización de experiencias y ensayos publicados entre 2019 y 2024 en revistas especializadas y bases de datos del ámbito iberoamericano, con el objetivo de estudiar las tendencias principales de la investigación en el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) en la enseñanza de las ciencias. Es importante que los(as) profesores(as) en formación inicial y en ejercicio, así como todos aquellos ciudadanos(as) interesados(as) en trabajar educativamente controversias sociocientíficas y ambientales analicen el estado actual de las investigaciones al respecto, con el propósito de tener un panorama general para fundamentar de mejor forma la enseñanza y establecer diálogos académicos con los autores a partir de sus escritos. Asimismo, se ofrecen criterios metodológicos de búsqueda y análisis de información académica para llevar a cabo revisiones propias, de manera que se tenga un punto de vista actualizado.

Crterios para la seleccin de artculos: el conocimiento como bien comn

Para seleccionar el corpus objeto de anlisis se revisó cuidadosamente el material recolectado de acuerdo con el resumen de los artculos que contuvieran las palabras clave “cuestiones sociocientficas”, “cuestiones sociocientficas y ambientales”, “cuestiones socioambientales o controversias en ciencia”, “tecnología”, “sociedad y ambiente”. La revisin bibliogrfica se limitó a revistas en acceso abierto especializadas en el rea de la enseanza de las ciencias, con el propsito de que el profesorado de ciencias en formacin inicial y en ejercicio o cualquier investigador(a) interesado(a) pueda consultar estas fuentes, revisar los anlisis y proyectar su actualizacin.

El criterio central de seleccin de fuentes de consulta se basó en los procesos de democratizacin del conocimiento, que consisten en facilitar a todos los ciudadanos y ciudadanas el acceso a la produccin cientfica en contrava de dinmicas privadas de la investigacin acadmica, que establece suscripciones o valores monetarios para acceder a determinadas publicaciones. Al tiempo, se buscó fortalecer una concepcin del conocimiento como bien comn de la humanidad, que va ms all de las polticas de ciencia abierta, pues, en los casos que siguen solamente orientaciones de organismos internacionales, como la Organizacin para la Cooperacin y el Desarrollo Econmico (OCDE), pueden permanecer atadas a una cierta obsesin de la lgica instrumental de medicin de la produccin cientfica, hasta el punto de asegurar que todo debe ser medible para ser susceptible de mejoramiento. Con la idea de superar esta visin instrumental atada a la lgica de la estandarizacin, que articula a intereses mercantilistas de la educacin, se sostiene la perspectiva de produccin y divulgacin de conocimiento como bien pblico.

El discurso de ciencia abierta, impulsado ultimamente en las agendas gubernamentales, se configura como una nueva forma de aumentar la

eficiencia de la investigación y su respectiva difusión de conocimiento. De acuerdo con Jiménez *et al.* (2023), la generación de conocimiento científico se fundamenta en la competencia entre actores y la protección de sus derechos intelectuales, conformando un régimen de propiedad intelectual promovido en los lineamientos de la OCDE que pueden favorecer los intereses privados:

El proceso de progresiva mercantilización que supone la ciencia abierta tiene su origen en la introducción por parte de las editoriales comerciales, que ya están establecidas como validadoras del conocimiento útil, de excelencia y calidad, de opciones de acceso abierto a cambio de un pago conocido como *paywall*. [...] El modelo de acceso abierto se ha consolidado a través de diversos instrumentos, como el pago de suscripciones para lectores y, más recientemente, la introducción de cargos por procesamiento de artículos (o APC, por sus siglas en inglés), dirigidos hacia los autores, que también implican la cesión de derechos de propiedad de los(as) autores(as) hacia las editoriales o el establecimiento de tiempos para la reproductibilidad de forma libre de los contenidos del artículo. [...] Este modelo comercial se complementaría con otros mecanismos que supuestamente buscan resolver el doble pago de los(as) investigadores(as) interesados en publicar en abierto, a través de Big Deals entre las editoriales y las instituciones académicas y científicas, en donde ambas partes acuerdan un precio para la publicación y el acceso a las publicaciones. (Jiménez *et al.*, 2023, pp. 41-42)

El acceso a la producción académica de editoriales prestigiosas en el ámbito internacional y a los artículos que circulan en *Scopus* y *Web of Science* (WoS) está restringido a los usuarios que pueden pagar estos contenidos; además, lo que allí circula está dominado por el pensamiento académico anglosajón y europeo, principalmente, desconociendo en gran parte las producciones propias de las comunidades académicas de América Latina. En este sentido, frente a una concepción de ciencia abierta utilitarista basada en la eficiencia, la productividad y la competencia, se propone el acceso abierto al conocimiento para garantizar el derecho a la información y la circulación libre de conocimiento pertinente a las características

propias de nuestra región y de los contextos locales. Es decir, la apuesta académica de la producción se posiciona en un horizonte político colectivo común de las comunidades para dar respuesta a los problemas particulares y por ello se requiere fortalecer sistemas de divulgación originarios en los que circule el conocimiento libre y democrático. En palabras de Jiménez *et al.* (2023):

La defensa de los comunes en general y del conocimiento en particular debe insistir en el carácter necesariamente comunal y de complementariedad que implica la (re)afirmación de la vida como totalidad y la preservación y la construcción de relaciones sociales democráticas en condiciones de igualdad, preservando sus diferencias individual y colectivamente. Así, la idea de unidad en la diferencia y de diferencia en la comunidad se muestra no solo imprescindible, sino también inaplazable. (p. 44)

La concepción democrática y crítica de la producción científica construida desde América Latina se ha posicionado en diversos escenarios políticos e influye, en cierta medida, en el establecimiento de acuerdos internacionales para disminuir las grandes brechas existentes. Por ejemplo, en la 41.^a conferencia general de 2021 de la Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), se logró adoptar la recomendación de ciencia abierta que busca promover la libertad académica, la perspectiva de género, el diálogo abierto entre diferentes sistemas de conocimiento, el desarrollo de infraestructura material y digital que facilite el acceso y, lo más importante, la participación abierta de los diferentes actores sociales. Esta recomendación también llama la atención frente a la necesaria superación de las grandes brechas de producción y acceso al conocimiento que mantienen los países pobres o periféricos, como los nuestros.

Al seguir el criterio de acceso abierto al conocimiento, sin restricciones monetarias y enfocando la atención en la producción propia de América Latina, el estudio de revistas se centró, en primer lugar, en aquellas que están

indexadas u homologadas en el modelo de Publindex Colombia, a causa de que ofrece una base de datos de revistas nacionales y extranjeras de libre acceso y de óptima calidad. Debido a que varias revistas reconocidas en la enseñanza de las ciencias en el ámbito iberoamericano no están homologadas en este modelo se acudió a las revistas reconocidas en SciELO y Latindex, dos grandes repositorios que reúnen revistas iberoamericanas en atención a criterios de calidad, integridad científica y acceso gratuito.

Publindex es un modelo de clasificación de revistas gestionado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia que se basa en los principios de transición de gestión editorial e impacto diferenciado por las grandes áreas del conocimiento, acceso abierto, política editorial e incorporación de métricas, como el índice H e índices de citas clásicos: *Journal Citation Report* (JCR) y *Scimago Journal Report* (SJR). Este modelo clasifica las revistas científicas en Colombia y homologa las extranjeras en cuatro categorías A1, A2, B y C, para esto verifica el cumplimiento de la gestión editorial y el impacto identificando la posición de estas en cualquiera de los cuatro cuartiles del JCR o el SJR, independiente del cuartil que obtengan mediante el cálculo del H5.

El modelo de Publindex se ha ajustado con el paso del tiempo para estipular criterios más estrictos que desencadena la disminución de revistas categorizadas en Colombia, tal como es comentado por Martínez (2023):

[...] como se puede observar en los resultados de las convocatorias, mientras que en el Índice Bibliográfico Nacional (IBN) de Publindex para el 2014 había 523 revistas clasificadas (29 en A1, 146 en A2, 122 en B y 226 en C), en la convocatoria 768 del 2016 pasaron a ser 246 revistas y en la convocatoria 830 del 2018 quedaron 275 revistas categorizadas, de las cuales solo 3 alcanzaron la categoría A1 y 10 la categoría A2. Si se compara con la clasificación que existía en el 2014, la reducción del número de revistas indexadas fue cercana al 50 % si se observa de manera general, si se revisa en las categorías A1 y A2, su reducción fue del 93 % en cada una. (p. 100)

La revisión de los datos de las últimas convocatorias publicados por Minciencias arrojó que en 2021 se categorizaron 276 revistas y en 2022 se reconocieron 287, de las cuales 7 son A1; 17, A2; 114, B y 149, C. Estas son la vigentes actualmente, hasta tanto se disponga la publicación de los resultados de un nuevo proceso de indexación que aún no se ha realizado. La revisión bibliográfica inició con la consulta de revistas especializadas en educación y enseñanza de las ciencias categorizadas y homologadas en el modelo de Publindex Colombia, ya que ofrece una base de datos de revista nacionales y extranjeras de libre acceso y de buena calidad.

En la tabla 1 se presentan las revistas de educación, especialmente, de enseñanza de las ciencias seleccionadas. En ella se puede apreciar que la mayor cantidad es de Colombia; seguida por Argentina, Brasil y España; por su parte, el menor número concierne a Chile, Uruguay y México. El único país que no cuenta con revistas de educación o de enseñanza homologadas en Publindex es Uruguay.

De las revistas colombianas elegidas ninguna cuenta con categoría A o A1, solo existen dos revistas con este reconocimiento: la *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)* y la revista *Enseñanza de las Ciencias de España*; esto no significa que sean de mayor calidad, sino que atienden parámetros del modelo Publindex que privilegia criterios europeos y anglosajones de indexación, en detrimento de criterios propios de la región. De las otras revistas extranjeras específicas, solo las revistas *Educación Química* (México) y la revista *Investigações no Ensino de Ciências* (Brasil) cuentan con homologación B y C en Publindex.

Lo anterior evidencia que el modelo Publindex excluye significativamente revistas específicas de la enseñanza de las ciencias naturales, por esa razón es fundamental acudir a otras plataformas como SciELO y Latindex. El modelo Publindex en el 2014 tenía criterios diferentes que permitía la homologación de revistas extranjeras específicas de enseñanza de las ciencias, varias de ellas se homologaban en categoría A1, como era el caso de *Ciência & Educação*, de Brasil.

Tabla 1. Revistas seleccionadas de Iberoamérica para la construcción de estado del arte sobre el abordaje de las CSCA en la enseñanza de las ciencias

País	Revista	*C
Colombia	<i>Revista Praxis & Saber</i>	B
	<i>Revista Zona Próxima</i>	B
	<i>Educación y Educadores</i>	B
	<i>Tecné, Episteme y Didaxis (TED)</i>	B
	<i>Revista Colombiana de Educación</i>	B
	<i>Luna Azul</i>	C
	<i>Educación y Ciudad</i>	C
	<i>Revista Góndola</i>	SC
Chile	<i>Nodos y Nudos</i>	SC
	<i>Revista pensamiento educativo</i>	B
	<i>Revista de innovación en enseñanza de las ciencias</i>	SC
Argentina	<i>Virtualidad, educación y ciencia</i>	C
	<i>Revista de estudios sociales de la ciencia</i>	SC
	<i>Revista ciencia, tecnología y docencia</i>	SC
	<i>Revista de Educación en Biología</i>	SC
	<i>Revista electrónica en educación en ciencias</i>	SC
Uruguay	<i>Páginas de Educación</i>	SC
	<i>Revista educación en ciencias biológicas</i>	SC
México	<i>Educación Química</i>	B
	<i>CPU-E-Revista de Investigación educativa</i>	C
Brasil	<i>Educação e pesquisa</i>	B
	<i>Investigações em ensino de ciências</i>	C
	<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i>	SC
	<i>Ciência & Educação</i>	SC
España	<i>Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)</i>	A1
	<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	A2
	<i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i>	B
	<i>Didáctica de las ciencias experimentales y sociales</i>	SC
Portugal	<i>Revista Portuguesa de Educação</i>	B
	<i>Revista Indagatio</i>	SC
	<i>Revista Investigação e práticas em Educação em ciências, matemática e tecnologia</i>	SC

Nota: *C Categoría en Publindex vigente para el 2024.

SC: Sin Categoría en Publindex, pero reconocidas en SciELO y Latindex.

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de las revistas colombianas, se revisaron 287 que se encuentran categorizadas por Publindex. De estas, se priorizaron aquellas cuya política editorial hacía alguna alusión a la divulgación de investigaciones y reflexiones teóricas sobre la educación en ciencias de la naturaleza (química, física, biología y ciencias de la tierra), educación ambiental, educación tecnológica o ciencia de la naturaleza y educación. De las 287 revistas se seleccionaron 7 que reunían los anteriores criterios.

La lista de revistas colombianas fue ampliada con dos revistas, las cuales están reconocidas en los repositorios SciELO y Latindex, pero sin categoría en Publindex, consolidando de esta forma nueve revistas. En los demás países del ámbito iberoamericano que cuentan con revistas homologadas en Publindex se seleccionaron diez publicaciones y nueve que no cuentan con categoría en este modelo, aunque son reconocidas por SciELO o Latindex. Las 31 revistas seleccionadas se presentaron en la tabla 1 y fueron consultadas para la selección de artículos objeto de análisis.

SciELO es un programa de apoyo a la infraestructura de comunicación de investigaciones científicas y de acceso abierto. Constituye un modelo para la publicación electrónica cooperativa de revistas científicas en internet centrado en visibilizar la producción de las comunidades, especialmente de Latinoamérica y el Caribe. Surgió en Brasil en 1997 por la colaboración entre la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), el Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde (Bireme) y algunas editoriales científicas de este país. Antes de que existiera la preocupación internacional por avanzar en la democratización del acceso abierto al conocimiento científico, esta plataforma materializó una plataforma gratuita para que investigadores y público general tuvieran acceso a publicaciones inicialmente en el área de la salud —con 10 revistas brasileñas—, que después se amplió y creció progresivamente hasta constituirse en portal de referencia, el cual contaba con 410 revistas, 520 339 documentos y 13937064 referencias en 2024. Adicionalmente, suma 17

coleccionas nacionales de revistas, servidor Preprints, colección Data de archivos, y colección de libros.²

En relación con la democratización del conocimiento científico, se destacan los principios adoptados por SciELO al considerarlo como bien público global y la disponibilidad de todos los contenidos para la sociedad. Realiza un trabajo colaborativo en red, manteniendo procesos rigurosos y sistemáticos que garantizan la calidad científica y orienta sus procesos por la diversidad, equidad, inclusión y accesibilidad.

Latindex es un sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Surgió la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) como un proceso de cooperación académica entre diferentes instituciones. Fue creado en 1997 y cuenta con un directorio que ofrece datos bibliográficos de revistas impresas y en línea, también tiene un catálogo 2.0 de revistas *online* que cumplen con altos niveles de calidad.

Este sistema de información busca integrar esfuerzos académicos para la producción, difusión y uso de revistas científicas ofreciendo mayor visibilidad y cobertura internacional en el ámbito iberoamericano. Cuenta con 22 países participantes y con reuniones técnicas a través de las cuales se hace seguimiento a los proyectos de cooperación y se discuten planes de trabajo a futuro para fortalecer el sistema. La revisión de los artículos publicados en las 28 revistas fue sistemática y en profundidad; en este sentido, se analizaron los títulos, palabras clave y resúmenes de 3287 artículos publicados en estas revistas entre 2019 y 2024-1, de los cuales se seleccionaron 220 que constituyen el corpus del estado de arte elaborado.

En la tabla 2 se relaciona la totalidad de revistas revisadas y el número de artículos seleccionados después de la lectura cuidadosa de este material. Está estructurado por título, resumen, palabras claves y, en varios casos,

2 Para ampliar información sobre el portal SciELO consultar <https://www.SciELO.br/>

lectura completa del artículo cuando existía duda que correspondiera a un trabajo directamente relacionado con los descriptores definidos: cuestiones sociocientíficas o ambientales, controversias en ciencia, tecnología, sociedad y ambiente.

Asimismo, es posible observar que solo el 6,69 % de los artículos corresponde a los descriptores de interés, y 2020 el año en el que se encuentra la mayor publicación de trabajos, momento en que la humanidad enfrentó el inicio de la pandemia que desencadenó importantes reflexiones académicas frente al papel de la ciencia y la tecnología en la sociedad, así como los impactos ambientales de la actividad antrópica.

La revista con mayor cantidad de artículos de interés identificados fue *Investigações em ensino de ciencias*, de Brasil; seguida de *Educación Química*, de México; *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, de España; *Ciência & Educação*, de Brasil; *TED* y *Luna Azul*, de Colombia y *Revista Investigaçao e práticas em Educação em ciências, matemática e tecnologia*, de Portugal. Finalmente, se advirtió que las revistas de educación, como *Páginas de Educación*, de Uruguay, *CPU-E-Revista de Investigación educativa*, de México, entre otras, no contienen artículos de interés.

Tabla 2. Revistas y número de artículos revisados y seleccionados

País	Nombre de la revista	Años de revisión y número de artículos revisados (AR) y artículos seleccionados (AS)															
		2019		2020		2021		2022		2023		2024-1		TAR	% TAS		
		AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS		
	<i>Revista Praxis & Saber</i>	43	0	41	0	37	5	54	1	40	0	2	0	217	6,6	6	2,7
	<i>Revista Zona Próxima</i>	15	0	16	0	17	0	14	0	15	1	8	0	85	2,6	1	0,5
	<i>Educación y Educadores</i>	20	0	19	1	16	0	15	0	7	2	0	0	77	2,3	3	1,4
	<i>Tecné, Episteme y Didaxis (TED)</i>	22	1	25	2	33	0	35	2	34	6	18	1	167	5,1	12	5,5
Colombia	<i>Revista Colombiana de Educación</i>	29	0	47	0	50	1	54	0	54	3	18	0	252	7,7	4	1,8
	<i>Luna Azul</i>	24	3	25	6	16	3	0	0	0	0	0	0	65	2	12	5,5
	<i>Educación y Ciudad</i>	27	0	24	2	28	4	26	0	22	0	5	0	132	4	6	2,7
	<i>Revista Góndola</i>	18	0	30	1	35	3	36	0	76	3	13	1	208	6,3	8	3,6
	<i>Nodos y Nudos</i>	14	1	20	0	20	0	17	0	7	0	0	0	78	2,4	1	0,5
	<i>Revista pensamiento educativo</i>	20	0	20	3	24	1	24	2	25	4	9	0	122	3,7	10	4,5
Chile	<i>Revista de innovación en enseñanza de las ciencias</i>	12	4	22	0	14	2	7	3	0	0	0	0	55	1,7	9	4,1
	<i>Virtualidad, educación y ciencia</i>	17	0	24	1	17	1	12	0	11	0	5	0	86	2,6	2	0,9
	<i>Revista de estudios sociales de la ciencia y la tecnología</i>	18	0	18	1	19	1	23	0	9	0	4	0	91	2,8	2	0,9
Argentina	<i>Revista ciencia, tecnología y docencia</i>	24	1	21	0	17	0	12	0	18	0	8	1	100	3	2	0,9
	<i>Revista electrónica en educación en ciencias</i>	11	0	10	0	11	0	10	0	10	0	5	0	57	1,7	0	0
	<i>Páginas de educación</i>	18	0	14	0	12	0	10	0	15	0	12	0	81	2,5	0	0
Uruguay	<i>Revista educación en ciencias biológicas</i>	4	0	5	2	10	1	0	0	2	0	0	0	21	0,6	3	1,4

Años de revisión y número de artículos revisados (AR) y artículos seleccionados (AS)																	
País	Nombre de la revista	2019		2020		2021		2022		2023		2024-1		TAR	% TAS	%	
		AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS	AR	AS		
México	<i>Educación Química</i>	42	4	35	6	66	2	67	2	68	7	12	2	290	8,8	23	10
	<i>CPU-E-Revista de Investigación educativa</i>	19	0	16	0	14	0	20	0	14	0	7	0	90	2,7	0	0
	<i>Educação e pesquisa</i>	110	0	100	2	87	0	91	0	117	1	41	0	546	17	3	1,4
Brasil	<i>Investigações em ensino de ciências</i>	42	2	68	9	61	4	37	2	51	5	21	2	280	8,5	24	11
	<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i>	28	3	38	3	44	5	48	2	35	1	19	3	212	6,4	17	7,7
	<i>Ciência & Educação</i>	60	1	68	2	73	7	58	3	53	5	20	0	332	10	18	8,2
	<i>Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)</i>	32	1	30	0	34	0	34	0	31	0	16	0	177	5,4	1	0,5
España	<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	30	0	30	1	39	1	32	5	23	3	10	1	164	5	11	5
	<i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i>	36	3	33	3	43	4	40	3	41	4	14	3	207	6,3	20	9,1
	<i>Didáctica de las ciencias experimentales y sociales</i>	18	0	20	1	20	2	20	0	22	0	10	0	110	3,3	3	1,4
	<i>Revista Portuguesa de Educação</i>	22	1	30	1	29	0	43	0	39	0	19	0	182	5,5	2	0,9
Portugal	<i>Revista Inadagatio</i>	46	1	79	1	65	0	16	0	46	3	6	0	258	7,8	5	2,3
	<i>Revista Investigação e práticas em Educação em ciências, matemática e tecnologia</i>	0	0	30	8	21	2	7	1	26	1	5	0	89	2,7	12	5,5
Total		821	26	958	56	972	49	862	26	911	49	307	14	3287	220	6,7	

Fuente: elaboración propia.

Codificación y categorías de análisis

Para el análisis de contenido que da cuenta del estado del arte sobre las tendencias existentes en la investigación, a propósito de las CSCA en Iberoamérica, se realizó la codificación de los 220 artículos seleccionados, los cuales se presentan en la tabla 3. El análisis de contenido deductivo sobre los 220 artículos se llevó a cabo tomando como categorías teóricas orientadoras las principales tendencias en Latinoamérica sobre cuestiones sociocientíficas, caracterizadas por Casallas y Martínez (2021) e ilustradas en la tabla 4, y las categorías propuestas por Torres *et al.* (2023) e ilustradas en la tabla 5.

Al comparar las tablas 5 y 6 se aprecia que los dos estudios coinciden en la categoría CSC y formación de profesores, así como argumentación y pensamiento crítico. En el caso de Casallas y Martínez (2021) proponen el análisis de trabajos en términos de alfabetización científica y formación ciudadana; por su parte, Torres *et al.* (2023) recomiendan el abordaje de CSC para la apropiación de conceptos científicos y la interdisciplinariedad.

Tabla 3. Codificación de revistas seleccionadas

País	Revista	Codificación de artículos
Colombia	<i>Revista Praxis & Saber</i>	CPS1, CPS2, CPS3, CPS...
	<i>Revista Zona Próxima</i>	CZP1, CPZ2, CPZ3, CPZ...
	<i>Educación y Educadores</i>	CEE1, CEE2, CEE3, CEE...
	<i>Tecné, Episteme y Didaxis (TED)</i>	CTED1, CTED2, CTED3, CTED...
	<i>Revista Colombiana de Educación</i>	CRCE1, CRCE2, CRCE3, CRCE...
	<i>Luna Azul</i>	CLA1, CLA2, CLA3, CLA...
	<i>Educación y Ciudad</i>	CEC1, CEC2, CEC3, CEC...
	<i>Revista Góndola</i>	CRG1, CRG2, CRG3, CRG...
Chile	<i>Nodos y Nudos</i>	CND1, CND2, CND3, CND...
	<i>Revista pensamiento educativo</i>	CHPE1, CHPE2, CHPE3, CHPE...
Argentina	<i>Revista de innovación en enseñanza de las ciencias</i>	CHEC1, CHEC2, CHEC3, CHEC...
	<i>Virtualidad, educación y ciencia</i>	AVE1, AVE2, AVE3, AVE...
	<i>Revista de estudios sociales de la ciencia</i>	AES1, AES2, AES3, AES...
	<i>Revista ciencia, tecnología y docencia</i>	ACT1, ACT2, ACT3, ACT...
Uruguay	<i>Revista electrónica en educación en ciencias</i>	AEC1, AEC2, AEC3, AEC...
	<i>Páginas de educación</i>	UPE1, UPE2, UPE3, UPE...
México	<i>Revista educación en ciencias biológicas</i>	UEB1, UEB2, UEB3, UEB...
	<i>Educación Química</i>	MEQ1, MEQ2, MEQ3, MEQ...
Brasil	<i>CPU-E-Revista de Investigación educativa</i>	MIE1, MIE2, MIE3, MIE...
	<i>Educação e pesquisa</i>	BEP1, BPE2, BPE3, BEP...
	<i>Investigações em ensino de ciências</i>	BIE1, BIE2, BIE3, BIE...
	<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i>	BPEC1, BPEC2, BPEC3, BPEC...
España	<i>Ciência & Educação</i>	BCE1, BCE2, BCE3, BCE...
	<i>Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)</i>	EED1, EED2, EED3, EED...
	<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	EEC1, EEC2, EEC3, EEC...
	<i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i>	EDC1, EDC2, EDC3, EDC...
Portugal	<i>Didáctica de las ciencias experimentales y sociales</i>	EDE1, EDE2, EDE3, EDE...
	<i>Revista Portuguesa de Educação</i>	PRE1, PRE2, PRE3, PRE...
	<i>Revista Indagatio</i>	PRI1, PRI2, PRI3, PRI...
	<i>Revista Investigação e práticas em Educação em ciências, matemática e tecnologia</i>	PIP1, PIP2, PIP3, PIP...

Nota: *La primera letra corresponde al país que edita la revista, seguido de siglas del nombre de la revista y la numeración del artículo que es continua para cada revista.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Tendencias encontradas en torno al abordaje de las CSC en Latinoamérica en el periodo 2000-2017

Ámbitos	Elementos que se abordan
Formación de profesores	Aportes y desafíos en su formación, desarrollo de argumentación y pensamiento crítico, creación de grupos de investigación, inclusión de las TIC, favorecimiento de la interdisciplinariedad, caracterización de niveles de argumentación que se promueven en los estudiantes, conocimiento profesional del profesor.
Formación ciudadana	Favorecimiento de valores, actitudes, razonamiento ético y moral, toma de decisiones, participación, análisis del discurso que movilizan, formación dialógica, educación sociopolítica.
Alfabetización científica	Desarrollar o afianzar conocimientos, comprensión de naturaleza de las ciencias (NdC), vínculos entre conocimiento científico y el contexto de la vida.
Argumentación- Pensamiento crítico	Juego de roles, debates, argumentación oral y escrita, análisis del posicionamiento de estudiantes frente a CSC, favorecimiento trabajo colaborativo.
Dinamización y fortalecimiento del currículo de ciencias naturales	Diseño, propuesta e implementación de estrategias didácticas (unidades y secuencias didácticas). Articulación de la producción científica con enseñanza de la química, elaboración de material didáctico, favorecimiento de la educación ambiental, favorecimiento de la enseñanza de la biología.

Fuente: elaboración propia con base en Casallas y Martínez (2021, pp. 31-32).

Tabla 5. Categorías propuestas por Torres *et al.* (2023)

Categoría	Descripción
Uso de las CSC para promover la argumentación	Se incluyen en esta categoría las propuestas didácticas que planteen el escenario de toma de posturas, desarrollo discursivo y el uso de la ciencia como fundamento en la defensa de dichas posturas. Así mismo, se agruparon aquí aquellos artículos que reflejan de manera directa en su objetivo el desarrollo de la argumentación en ciencias.
Desarrollo del pensamiento crítico desde el uso de las CSC	En esta categoría se integran aquellas propuestas que promueven el cuestionamiento de la información en torno a diferentes posturas, decisiones y situaciones; esto es, aspectos de emancipación, participación ciudadana, así como la proposición que se hace desde las ciencias para el avance o esclarecimiento de esta.
CSC y formación de profesores	Se proponen las CSC como instrumentos de reflexión y acción en torno a la labor docente, en cuanto posicionan al mismo en un contexto en función del cual debe estar su apuesta didáctica, además de contribuir a la formación de docentes como agentes políticos de cambio y alternativas de construcción social.
CSC e interdisciplinariedad	Se consideran las CSC como ejes de articulación interdisciplinar entre las diferentes áreas de conocimiento en cuanto a que las situaciones, fenómenos o decisiones que traen a colación las mismas y necesitan dialogarse desde diversos puntos de vista, los cuales son desarrollados mediante las metodologías, los análisis y los postulados de las diferentes disciplinas.
CSC y apropiación de conceptos científicos	Las CSC posibilitan la apropiación de conceptos científicos, pues entre sus propósitos requieren la argumentación y la fundamentación en la ciencia y el desarrollo científico para el análisis de situaciones, fenómenos y posturas.

Fuente: elaboración propia con base en Torres *et al.* (2023, pp. 11-12).

Para el desarrollo del análisis se conjugaron las categorías propuestas por Casallas y Martínez (2021) y Torres *et al.* (2023). Además, se estableció una categoría emergente referida a la educación ambiental y a las cuestiones sociocientíficas y ambientales que sustentan el avance hacia aspectos propios del diálogo de saberes, el buen vivir, conflictos ambientales, sustentabilidad y cambio climático. El significado de las CSC hacia lo ambiental (CSCA) es central para responder a la crisis que vivimos en términos de destrucción de la biodiversidad, agudización de la contaminación del aire, el suelo y el agua, así como la crisis climática y los problemas de justicia ambiental. En la tabla 6 se presentan las categorías consolidadas y los respectivos descriptores que constituyeron los elementos clave del análisis.

Tabla 6. Categorías y descriptores de análisis consolidados

Questiones sociocientíficas y formación de profesores	Curriculo e interdisciplinariedad en el abordaje de cuestiones sociocientíficas	Alfabetización científica	Abordaje de CSC para promover la argumentación	Desarrollo del pensamiento crítico a partir del uso de cuestiones sociocientíficas	Educación ambiental y CSCA
Formación inicial	Lineamientos, estándares u orientaciones curriculares	Apropiación de conceptos científicos	Modelos o teorías sobre argumentación	Razonamientos argumentados	Complejidad
Formación continua o permanente	Interdisciplinariedad	Comprensión de la naturaleza de la ciencia	Enculturación científica	Habilidades de pensamiento	Sustentabilidad ambiental
Investigación profesoral o docente en la escuela	Unidades didácticas	Formación ciudadana	Estrategias didácticas para argumentación	Resolución de problemas	Activismo
Conocimiento profesoral del profesor	Secuencias didácticas	Toma de decisiones	Tipos de argumentación	Metacognición	Diálogo de saberes
Conocimiento didáctico del contenido	Materiales educativos	Cultura científica	Dificultades para argumentar	Creatividad	Buen vivir
Desarrollo profesoral	Estrategias o propuestas de enseñanza	Ciencia ciudadana	Niveles de argumentación científica	Estrategias de enseñanza y pensamiento crítico	Conflictos ambientales
Uso de tecnologías de la información y la comunicación	Libros de texto	Niveles de alfabetización científica	Uso de evidencias científicas	Análisis crítico de discurso	Desarrollo sostenible
Formación política y transformadora	Evaluación	Alfabetización ambiental	Competencias	Emancipación	Cambio climático

Fuente: elaboración propia.

El estado de arte se limitó al ámbito iberoamericano porque existen otros trabajos desarrollados por Pedretti y Nazir (2011); Zeidler *et al.* (2019) que han revisado ampliamente la literatura existente en el ámbito anglosajón y pueden consultarse para conocer el desarrollo del abordaje de CSC en estas regiones. Es importante señalar que estos estudios se limitan a dicho contexto y no citan trabajos en lengua española o portuguesa, en este sentido, es importante revisar los desarrollos originarios de los países iberoamericanos para caracterizar avances apropiados con el ánimo de atender nuestras problemáticas educativas.

Abordaje de las CSCA en Iberoamérica: 2019–2024

La lectura de la tabla 7 permite inferir que la mayoría de los artículos publicados en las revistas son producto de investigación. En menor grado se encuentran trabajos sobre experiencias o casos educativos y, por último, se aprecian trabajos de reflexión. En lo que concierne a la figura 2, se aprecia que gran parte de la investigación realizada en la ventana de observación sobre las CSCA se publicó en revistas de Colombia y Brasil; seguido de España, México, Portugal y, en menor grado, en Chile y Argentina; por último, no se encontraron trabajos de esta tipología en las revistas de Uruguay.

Tabla 7. Número de artículos caracterizados por tipología 2019–2024

País	Número de artículos			Total
	Investigación	Experiencia	Reflexión	
Colombia	32	12	9	53
Chile	1	12	6	19
Argentina	3	1	2	6
Uruguay		1	2	3
México	6	10	7	23
Brasil	31	2	29	62
España	14	17	4	35
Portugal	4	7	8	19
	91	62	67	220

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los trabajos académicos publicados sobre casos o experiencias didácticas que tratan CSCA, la mayoría son realizados en España; seguido de Colombia, Chile, México, Portugal y, el menor porcentaje, se registra en Uruguay, Argentina y Brasil. Los textos centrados en reflexiones o ensayos se reportan en su mayoría en Brasil, seguido de Colombia, México, Portugal, Chile y España, en menor porcentaje se reportan los trabajos de Argentina y Uruguay.

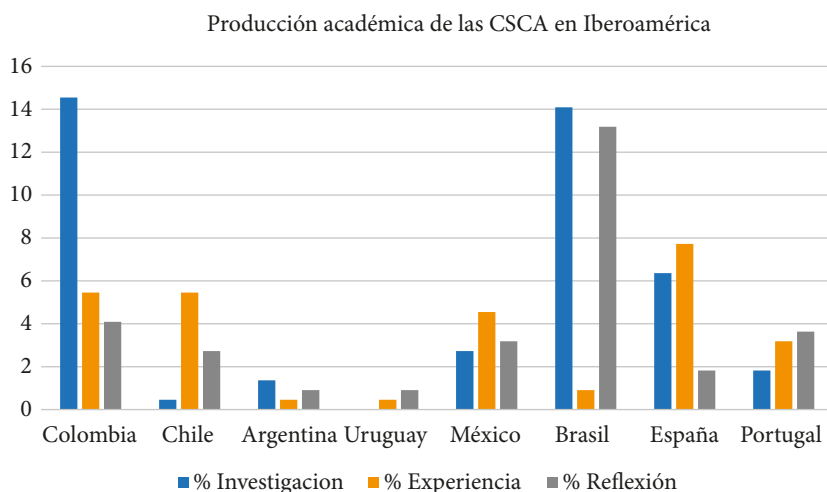


Figura 2. Porcentaje de artículos de revistas 2019-2024

Fuente: elaboración propia.

De los 220 artículos analizados se identificaron 538 autores, de los cuales 315 corresponden a mujeres y 223 a hombres. La figura 3 muestra que el mayor número de autoras se reporta en Brasil; seguido de Colombia, España, México y Chile; el menor número de autoría femenina se encontró en Uruguay y Argentina. En el caso de autores hombres, el mayor número sigue una tendencia semejante, registrando el mayor número en Brasil, seguido de Colombia, España, Portugal, Chile y México; el menor número está en Uruguay y Argentina. En el intento de contribuir con la búsqueda de la equidad de género, es importante evidenciar que la mayor parte de la producción académica realizada sobre CSCA en Iberoamérica es realizada por mujeres.

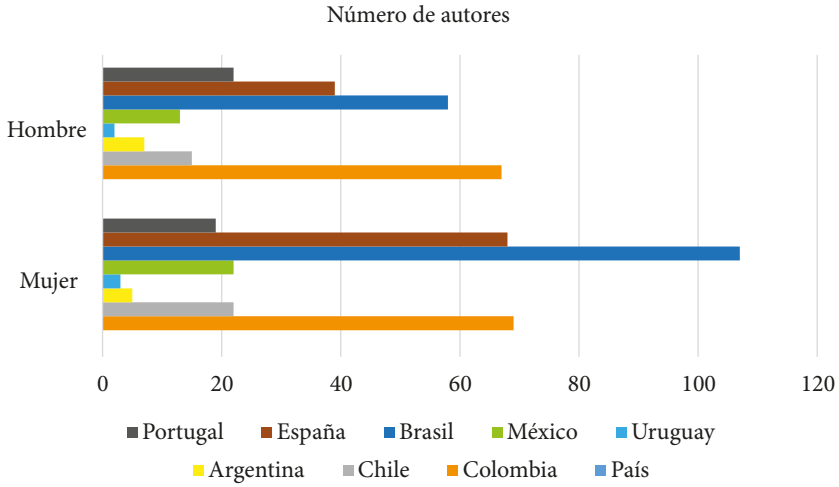


Figura 3. Distribución de autores de artículos por sexo

Fuente: elaboración propia.

La exclusión de las mujeres en la historia de la ciencia es un claro ejemplo de la concepción patriarcal existente en este campo que intentó ocultar las capacidades de las mujeres para producir conocimientos tanto teóricos como empíricos. Esto se asocia a la discriminación ejercida y la exclusión que se llevaba a cabo, relegándolas a oficios domésticos o a estereotipos sociales de consumo.

La propia historia de la ciencia ha desconocido la contribución femenina a su existencia. En las últimas décadas emergieron importantes trabajos que dan cuenta de que, a lo largo del tiempo, las mujeres han jugado un papel relevante para la producción científica. Pérez (s. f.) sustenta a partir de un análisis histórico la manera en que muchas científicas realizaron grandes aportes, aunque no se dio los créditos correspondientes, desmintiendo la tesis que la mujer ha estado ausente de tal producción, como se ha querido naturalizar.

Waksman (2005) plantea que, frente a la discriminación que han sufrido las mujeres de la ciencia, es necesario reescribir la historia tradicional. No es suficiente con que actualmente sean reconocidos sus derechos y su

capacidad intelectual para ejercer las mismas labores de los hombres, aún se le marginaliza del ejercicio de cargos de alta dirección o de ejercicio de gobierno, o reciben una menor asignación salarial. Se trata, también, de superar aquellas microdesigualdades que en ámbitos laborales, familiares y sociales persisten, como lo sustentó Pérez (2001). En este orden de ideas, es muy importante visibilizar y reconocer el liderazgo de las mujeres en la producción académica sobre el abordaje de las CSCA en Iberoamérica.

En la tabla 8 se presenta la frecuencia de artículos en cada una de las categorías teóricas establecidas, caracterizando el 66 % en estas y el 34 % en categorías híbridas que se relacionan en la tabla 9. La mayor parte de los artículos clasificados en las categorías teóricas corresponde a 36 trabajos referidos al análisis de controversias sociocientíficas, sin considerar aspectos de enseñanza, 32 hacen alusión a la formación de profesores y 29, a relaciones a trabajos sobre educación ambiental y CSCA.

La lectura completa de los 220 artículos permitió asociarlos a dos categorías; así, hubo trabajos que se relacionaron con la formación de profesores de ciencias, el currículo, la alfabetización científica, la argumentación, el pensamiento crítico o la educación ambiental, concretando cinco relaciones principales entre las cinco categorías. En diferente sentido, en la categoría currículo se establecieron 4 relaciones; la categoría alfabetización tuvo 3; la argumentación, 2; el desarrollo de pensamiento crítico, una y la educación ambiental no estableció ninguna relación principal. En la tabla 9 se aprecian estas categorías híbridas con la respectiva frecuencia que, aunque no es mayoritaria, es significativa; de la misma forma, en la figura 4 se representan las relaciones establecidas.

Tabla 8. Frecuencia de artículos caracterizados por categorías teóricas

Categorías teóricas	Códigos de artículos	*F
CSCA y formación de profesores	CTED1, CTED2, CTED6, CTED7, CTED8, CTED9, CTED10, CRG1, CRG5, CND1, CHPE10, CHPE3, ACT2, AES1, BEP3, BIE6, BIE11, BIE12, BIE19, BPEC3, BPEC12, BCE3, BCE6, BCE8, BCE15, BPEC17, EEC1, EEC5, EDC6, PRI4, PIP5, PRE1	32
Currículo y abordaje de las CSCA	CRCE1, CRG2, CRG4, CRG6, CHPE2, CHPE5, BIE2, BIE14, BIE15, BIE22, BPEC9, BPEC10, BCE5, EEC6, EDC7, EDC10, EDC11, EDC12, PRI1, PRI2, PRI3, PIP6, PIP9, PRE2	24
Alfabetización científica a partir del uso de las CSCA	MEQ19, MEQ21, BIE5, BIE9, BIE24, BPEC8, BCE13, EEC2, EDC13, EDC14	10
Abordaje de las CSCA para promover la argumentación	BEP1, BIE1, BIE21, BPEC13, EDC16	5
Desarrollo del pensamiento crítico a partir del uso de las CSCA	CTED11, CTED12, MEQ2, BEP1, BIE1, BIE21, BPEC13, EEC11, PIP2, PIP3	10
Educación ambiental y CSCA	CTED3, CTED4, CTED5, CEC1, CEC2, CEC3, CLA3, CLA4, CLA7, CPS2, CPS5, CEE1, CPS6, CRG3, CRG8, CHPE1, CHPE9, MEQ7, MEQ8, MEQ10, MEQ11, MEQ13, MEQ14, BPEC16, BIE13, BIE17, BIE4, BCE11, BCE14	29
Análisis de controversia sin consideración sobre enseñanza	CLA1, CLA2, CLA5, CLA6, CLA8, CLA9, CLA10, CLA11, CLA12, CPS1, CEE2, CZP1, CRCE2, CRCE3, CRCE4, CHPE8, AES2, BEP2, BIE3, BIE10, BIE16, BIE18, BIE23, BPEC1, BPEC2, BPEC7, BPEC14, BCE1, BCE2, BCE9, BCE10, BCE12, BCE16, BCE17, BCE18, EDE1	36

Nota: *F: Frecuencia de artículos por categorías.

Fuente: elaboración propia.

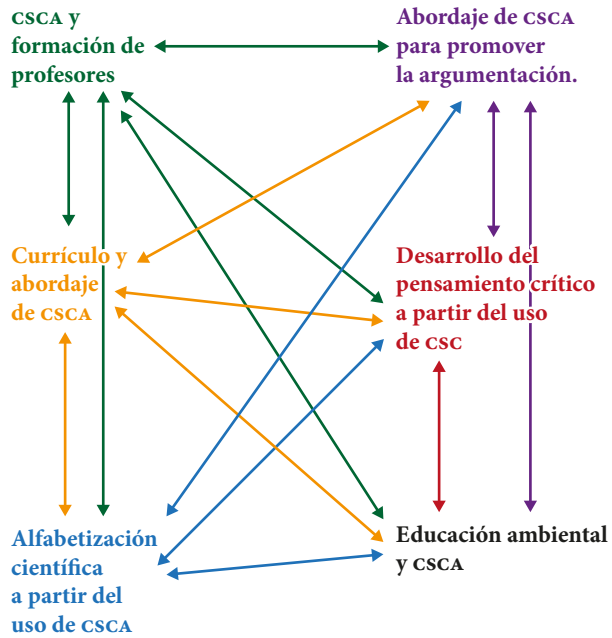


Figura 4. Representación de categorías emergentes híbridas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Frecuencia de artículos caracterizados por categorías emergentes híbridas

Categorías emergentes híbridas	Códigos de artículos	*F
CSCA y formación de profesores / currículo	ACT1, MEQ7, MEQ9, MEQ14, MEQ15, PIP4, PIP10, PIP11, PIP1	9
CSCA y formación de profesores / alfabetización	MEQ17, EEC5, EEC7, EDC3, EDC8, EDC17	6
CSCA y formación de profesores / argumentación	CPS3, CPS4, MEQ23	3
CSCA y formación de profesores / desarrollo de pensamiento crítico	CHPE7, CPS3	2
CSCA y formación de profesores / educación ambiental	MEQ20, MEQ22, EDE2,	3
Currículo y abordaje de las CSCA / argumentación	CHPE6, CHEC4, AVE1, AVE2,	4
Currículo y abordaje de las CSCA / pensamiento crítico	MEQ4	1
Currículo y abordaje de las CSCA / alfabetización científica	CHEC5, CHEC6, MEQ6, MEQ13, EDC15, EDC16, EDC19, PIP2, PIP3	9
Currículo y abordaje de las CSCA / educación ambiental	CHEC1, CHEC7, MEQ3, MEQ5, MEQ12, MEQ18, EEC10, EEC3, CHEC2, CHEC3, EDE3, EDC2,	12
Alfabetización científica a partir del uso de las CSCA / pensamiento crítico	UEB2, UEB1, UEB3, EDC5, EDC6, EDC18, EEC11	7
Alfabetización científica a partir del uso de las CSCA / argumentación	EEC11, EEC1, EDC8, EDC9	4
Alfabetización científica a partir del uso de las CSCA / educación ambiental	CHEC8, EEC4, EDC4, EDC20, EEC8, EEC9	6
Abordaje de las CSCA para promover la argumentación / educación ambiental	CHEC9, MEQ16, EEC5	3
Abordaje de las CSCA para promover la argumentación / pensamiento crítico	MEQ22	1
Desarrollo del pensamiento crítico a partir del uso de las CSCA / educación ambiental	MEQ18, EDE3, EDC7, CHPE4	4

Nota: *F: Frecuencia de artículos por categorías.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se representa el porcentaje de artículos en las categorías teóricas y en las emergentes híbridas, de allí se infiere que la tendencia de investigación mayoritaria del abordaje de las CSCA en Iberoamérica hace alusión a la formación de profesores como categoría principal y en el proceso de hibridación que ocurre, ya que se reportan relaciones con las otras cinco categorías. En segunda instancia, llama la atención el alto número de trabajos de análisis conceptual o teórico sobre controversias sociocientíficas sin hacer alusión a la enseñanza. En tercer lugar, se destaca el alto porcentaje de trabajos que abordan las CSCA y la educación ambiental, esto afianza la discusión teórica realizada en el segundo capítulo de este libro, que sustenta la importancia y necesario abordaje de la controversias sociocientíficas con estrecha relación a las cuestiones ambientales que le subyacen, pues la crisis ambiental se asocia directamente con el progreso científico en la sociedad capitalista y esto no puede desconsiderarse en ningún momento por parte del profesorado o educador(a) de ciencias.

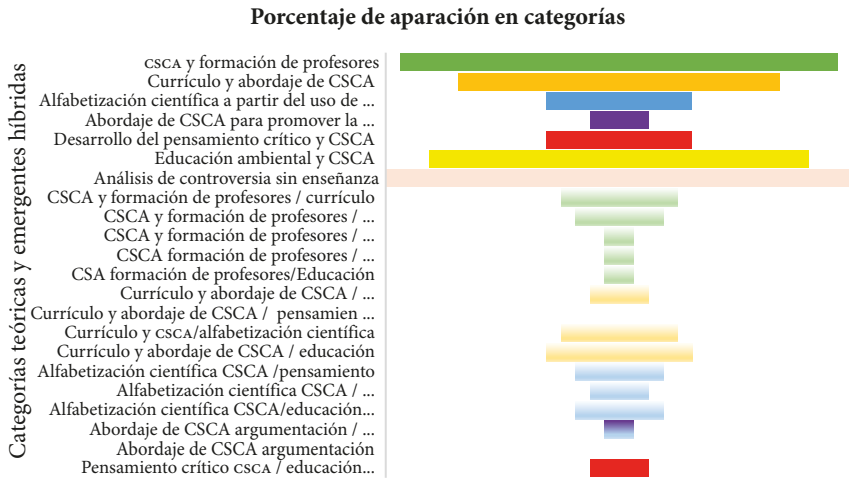


Figura 5. Porcentaje de aparición en categorías teóricas y emergentes híbridas

Fuente: elaboración propia.

En cuarto lugar, se ubican los trabajos sobre currículo y el abordaje de las CSCA, seguidos de los trabajos sobre alfabetización científica,

pensamiento crítico y, por último, argumentación. En cuanto a las categorías emergentes híbridas son dominantes las relaciones establecidas entre formación de profesores y currículo; currículo y educación ambiental; currículo y alfabetización científica, seguido de formación de profesores y argumentación; alfabetización científica y pensamiento crítico; alfabetización y educación ambiental; pensamiento crítico y educación ambiental, siendo muy bajo y prácticamente inexistente el abordaje de las CSCA, currículo y pensamiento crítico. El porcentaje nulo de trabajos asociados a la argumentación y pensamiento crítico es comprensible porque son dos aspectos que están incluidos entre sí.

De acuerdo con el objetivo de este libro enfocado en el fortalecimiento de procesos formativos y prácticas docentes de profesores(as) y educadores(as) de ciencias en ejercicio y formación inicial, se centra la atención en el análisis de la tendencia de investigación sobre el abordaje de las CSCA en la formación de profesores. En este sentido, se propone que los profesores y educadores de ciencias consideren que las controversias sociocientíficas están estrechamente vinculadas a la problemática ambiental para enfrentar educativamente la crisis civilizatoria que vivimos por el desenfrenado crecimiento económico extractivistas, depredador y antropocéntrico que destruye la naturaleza y, con ello, la diversidad biológica y cultural.

Abordaje de las CSCA en la formación de profesores

Para analizar los trabajos identificados en el abordaje de las CSCA en la formación de profesores(as) se retoman los descriptores de esta categoría presentados en la tabla 7³ y a partir de éstos se analiza los principales desarrollos en los artículos publicados al respecto en los últimos cinco años. De

3 Formación inicial, formación continua o permanente, investigación profesoral o docente en la escuela, conocimiento profesional del profesor, conocimiento didáctico del contenido, desarrollo profesional, uso de tecnologías de la información y la comunicación, formación política y transformadora.

acuerdo con estos descriptores la mayor parte de los trabajos (15) se relacionan con la formación inicial de profesores(as) de ciencias. En segundo lugar, se ubicaron 14 trabajos sobre la investigación de profesores(as) en la escuela y la formación permanente de profesores(as) evidenciando específicamente el mejoramiento de prácticas docentes. Tan solo 3 trabajos que articulan tanto la formación inicial como la formación permanente del profesorado.

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la formación inicial de profesores

Es interesante que gran parte de los trabajos orientados a la formación inicial de profesores(as) de ciencias se desarrollan para la educación básica primaria, lo cual era poco común porque la mayoría se centraban en la educación secundaria y media como fue caracterizado en Casallas y Martínez (2021). Seguidamente se encontraron trabajos en la formación de profesores de biología, química y tan solo un trabajo específico para pedagogía.

Las investigaciones sobre formación inicial de profesores(as) versan en gran parte sobre desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y argumentación, así como propuestas orientadas a la formación ambiental, en menor grado hay trabajos sobre concepciones y representaciones. La disminución de trabajos sobre concepciones y representaciones sociales es coherente con reportes anteriores en los que analizamos gran cantidad de trabajos sobre esta temática entre 1980 y 2000, teniendo en cuenta que en estas décadas los estudios sobre la epistemología de la ciencia de corte racionalista dominaban las investigaciones, pero a partir de la incorporación de los estudios discursivos sobre el lenguaje cobró especial importancia la comprensión de la formación en términos de la acción e interacción docente, lo que da cuenta de una investigación más amplia y prometedora (Martínez, 2012; Martínez y Parga, 2013).

García-Ruiz *et al.* (2020) investigan sobre el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en formación inicial de profesores de ciencias de primaria de México. Para ello, implementan una secuencia didáctica en cinco sesiones de trabajo orientadas a estudiar aspectos ambientales, como ecosistemas, impactos de la ciencia y la tecnología, tratamiento de residuos y hábitos de consumo. Se infiere de los contenidos tratados el abordaje de la controversia sobre los centros comerciales a manera de espacios de consumo altamente contaminantes o como espacios importantes para el entretenimiento y bienestar social. Aunque es posible realizar una amplia discusión frente a esta controversia, los autores no entran en ella y centran su atención en un abordaje temático, a partir del cual analizan las habilidades de pensamiento crítico.

Los autores citados destacan la importancia de continuar trabajando en los planes del estudio del profesorado de México y el pensamiento crítico en forma de competencia profesional; sin embargo, en los resultados obtenidos en el *pretest* demuestran bajos niveles en el desarrollo de habilidades de este pensamiento; lo que da cuenta de vacíos formativos en los currículos y desconocimiento de los futuros profesores sobre problemáticas socioambientales relacionados con el progreso científico y tecnológico. Después de implementar la secuencia didáctica orientada a reflexionar sobre estos vacíos, los autores reportan una mejora significativa en las habilidades de pensamiento crítico asociadas a la argumentación, la toma de decisiones y la resolución de problemas. No obstante, hubo pocos avances en la habilidad de pensamiento crítico referida al establecimiento y contrastación de hipótesis, frente a lo cual se recomienda hacer explícito este tipo de trabajo en futuras intervenciones didácticas.

Crujeiras-Pérez *et al.* (2020) analizan cómo los futuros docentes de primaria desarrollan habilidades argumentativas a través de un juego de roles sobre la instalación de un cementerio nuclear. Los resultados muestran que los participantes tienden a argumentar a favor de la instalación, utilizando el conocimiento social y científico-técnico; no obstante, presentan

dificultades para refutar argumentos y llegar a consensos. Se expresa la importancia de la argumentación en la educación científica y la necesidad de formación para abordar controversias sociocientíficas y ambientales de manera efectiva.

Los autores citados sustentan su investigación en Stephen Toulmin, que enfatiza la estructura de los argumentos y la importancia de la justificación en este proceso. Se realizan juegos de roles como estrategia didáctica para explorar las implicaciones sociales, éticas y ambientales de la decisión, así como la necesidad de un debate argumentado sobre el tema. Trabajan la controversia sociocientífica sobre la instalación de un cementerio nuclear, evaluando los riesgos y beneficios de almacenar residuos nucleares en una ubicación cercana a un campus universitario sin hacer una discusión amplia de los efectos ambientales.

Dos Santos *et al.* (2024) analizan la articulación de la CTS y el contenido de cinética química en futuros profesores de química. Se valora la CTS en términos de fomentar el pensamiento crítico a través de la participación estudiantil y la formación ciudadana. Los autores, a partir de la investigación cualitativa con análisis de contenido, concluyen que la contextualización social es fundamental para favorecer la comprensión conceptual de la cinética química y su vinculación con la industria y el ambiente. Se hace alusión a los beneficios de la cinética en estos ámbitos, pero no se discuten impactos, riesgos, ni mucho menos perjuicios; lo que expone limitaciones en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes, que podría cuestionar la concepción neutra y salvadora de la ciencia. En cuanto al abordaje de las CSCA se mencionan posibles controversias, tales como el uso de armas químicas y biológicas, uso de catalizadores en la industria, celulares y pilas, pero no hay un análisis específico al respecto.

García *et al.* (2023) investigan el fomento de actitudes y hábitos ambientales en futuros profesores de educación básica primaria, a través de un estudio cuasiexperimental con articulación de CTSA. Los principales

resultados evidencian poca claridad sobre sustentabilidad, consumo y consumismo después de haber implementado una estrategia didáctica para avanzar en estos temas. Podría constituirse una discusión amplia sobre el establecimiento de medidas efectivas de reducción consumo y el necesario hiperconsumo que sustenta la sociedad capitalista para sostener el mito del bienestar social.

Mendoça y Vargas (2022) estudian las prácticas epistémicas que emergen en el abordaje del consumo de carne animal como CSCA, para esto realizan una secuencia didáctica y la implementan con trece profesores en formación inicial de química. Analizan cuestiones generadas, como el impacto ambiental generado por el ganado, el derecho de los animales a la vida y la salud humana. En los resultados obtenidos establecen que los profesores en formación tienen un paradigma antropocéntrico, dado que toman las decisiones humanas como prioridad.

Luz *et al.* (2019) analizan la comprensión de futuros licenciados en química, física y biología, sobre las relaciones entre medio ambiente, ciencia, tecnología y sociedad a manera de herramienta dentro de la formación inicial de profesores. Para tal fin, entrevistaron a seis estudiantes de licenciatura de los últimos semestres y caracterizan respuestas sobre los cuestionamientos: ¿cómo se usan las implicaciones de la ciencia y la tecnología? ¿Es posible la conservación de recursos naturales y el desarrollo de la ciencia y la tecnología? ¿La ciencia y la tecnología pueden resolver los problemas socioambientales del planeta? Frente a estas identificaron una visión optimista de las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la sociedad por parte de los profesores en formación. Aunque analizan implicaciones ambientales relevantes, no hay un abordaje específico de las controversias involucradas.

Por su parte, Varela-Losada *et al.* (2019) llaman la atención sobre la importancia de orientar la educación ambiental hacia la sostenibilidad en el contexto de la crisis ambiental global del siglo XXI. Presentan una

propuesta educativa para la formación inicial de profesores basada en la experimentación y el análisis de un ciclo de aprendizaje sobre la problemática del cambio climático. Destacan la importancia de la implicación de la comunidad, la adquisición de competencias docentes y la necesidad de una transformación educativa para enfrentar los retos socioambientales actuales y futuros.

Porras y Pérez (2022) caracterizan las representaciones sociales de futuros profesores de biología sobre cambio climático, tomando como referente a Paulo Freire. Determinan causas antrópicas y la necesidad de promover formación crítica para la transformación en el contexto de crisis ambiental global. Proponen fomentar el empoderamiento de futuros profesores e incentivar la construcción de conocimientos contextualizados para la adaptación o mitigación de cambio climático.

Baccin *et al.* (2020) analizan la controversia sobre la comprensión de la ciencia a partir de aspectos epistemológicos en el contexto de la formación inicial de profesores de Biología. Evidencian que la formación inicial favorece la discusión y aprendizaje de la ciencia, al tiempo que sus aspectos epistemológicos promueven un mejor aprendizaje en los estudiantes.

Moreno-Fernández (2020) estudia las concepciones de futuros maestros de educación primaria sobre el cambio climático y expone la asociación del concepto con la extinción, la destrucción y la causalidad humana desde la percepción docente, pero presentan confusiones entre causas y consecuencias. Se resalta la importancia de abordar este tema en las aulas para formar ciudadanos críticos y comprometidos. Los resultados obtenidos por los autores citados muestran que estos docentes poseen conocimientos limitados y a veces erróneos sobre el cambio climático, lo que impacta en el proceso de enseñanza de esta problemática.

Además de los trabajos existentes sobre pensamiento crítico, implicaciones ambientales y análisis de concepciones y representaciones, se encontraron trabajos puntuales sobre el desarrollo moral, el trabajo en

museos de ciencias, la teoría crítica y la incorporación de CTS en la formación inicial de profesores de ciencias, que componen temáticas aún poco trabajadas en la investigación didáctica.

Machado y Razera (2021) determinan la interfase o límite entre la sensibilidad moral y la comprensión de la naturaleza de la ciencia durante la resolución de la controversia sobre xenotrasplantes de animales. El estudio se realizó con estudiantes de licenciatura de ciencias biológicas, a los cuales se propuso discutir la controversia sobre la decisión de un paciente de aceptar un xenotrasplante pese a sus creencias religiosas que se lo impedían. El dilema moral fue analizado por los estudiantes, quienes sustentaron su punto de vista desde lo científico o lo moral, lo que resultó en la predominancia de elementos dentro de los discursos aislados de sensibilidad moral.

Marandino y Dantas (2023) analizaron las salidas pedagógicas a museos para la creación de una secuencia didáctica por parte de 123 estudiantes de la licenciatura en ciencias biológicas, en la que establecen contenidos educativos que tratan controversias relacionadas con ciencia, tecnología, sociedad y ambiente. En sus hallazgos centrales establecen que los docentes en formación abordan aspectos históricos, sociales y ambientales; sin embargo, evidencian poco abordaje interdisciplinar. Se mencionan genéricamente controversias sociocientíficas y ambientales, infiriéndose la posibilidad de trabajar particularmente la controversia sobre urbanización y su impacto en la naturaleza.

Genovese *et al.* (2019) caracterizan la formación crítica de profesores en educación en ciencias y analizan los desafíos comprendidos en trabajos de grado de futuros profesores sobre CSC. La investigación se realizó con once estudiantes de pregrado en Pedagogía de Ciencias Naturales que propusieron el abordaje de las CSC para la educación infantil, educación fundamental y educación para jóvenes y adultos. Destacaron la dificultad existente para caracterizar y abordar una CSC orientada hacia el trabajo

con niños, empero resaltan los aportes de este proceso en la construcción de autónoma docente y la formación crítica. Adicionalmente, incluye controversias sobre los alimentos transgénicos, pilas y blanqueamiento dental, sin entrar a discutir las respectivas implicaciones ambientales.

Gonçalves y Prudêncio (2023) caracterizaron la inclusión del enfoque (CTS) en la formación inicial de profesores de ciencias en Brasil, revisando artículos publicados entre 2011 y 2021. Los autores destacan que en varios casos CTS se aborda de forma superficial y descontextualizada. Concluyen que es importante incluir cuestiones sociocientíficas, controversiales y ambientales en los currículos de licenciatura, por ejemplo, temas como el cambio climático, sostenibilidad y ética científica para complejizar el abordaje CTS. Pacheco y Muenchen (2024) describen una experiencia de formación inicial de profesores de física sobre la expansión de un barrio y los impactos de la construcción civil en los cambios climáticos. La experiencia de práctica pedagógica se basa en la elaboración de un proyecto de enseñanza que evidencia la discusión de aspectos sociales y éticos de ciencia y tecnología, promoción de interés de estudiantes en establecer relaciones CTS y comprensión crítica del progreso científico y tecnológico. Se discute la CSCA a través de proyectos que apuntan ventajas y desventajas sobre la construcción civil acompañada de creación de parques urbanos, uso de materiales de edificación sustentables, reducción de huella de carbono de los habitantes de estos conjuntos residenciales y otras alternativas que ponen en discusión la sustentabilidad de la realización de conjuntos residenciales.

A partir del análisis de todos los trabajos anteriores frente al grado de importancia atribuido a la dimensión ambiental se construyó la tabla 10 en la cual se clasificaron aquellos que permanecían en el tratamiento de solo aspectos sociocientíficos haciendo alusión a lo ambiental, pero sin profundizar en ella. También se relacionan los trabajos que logran abordar la problemática ambiental de forma amplia. Se representa como predominio sociocientífico y menos (-) ambiente a los trabajos ubicados en la

primera clasificación y como predominio ambiental, y más (+) ambiente a los encuadrados en la segunda clasificación. Todos los trabajos examinan controversias sociocientíficas y, como se ha referido anteriormente, algunos las mencionan, pero guardan una importante potencialidad para que futuras investigaciones puedan profundizar en las controversias destacando la dimensión ambiental.

Tabla 10. Clasificación del abordaje de controversias tratadas en la formación inicial de profesores de ciencias de acuerdo con el predominio sociocientífico o ambiental

Predominio sociocientífico (-Ambiente)	%-A	Controversias tratadas	Predominio ambiental (+Ambiente)	%+A
CTED2, CTED6, CTED8, CRG5, ACT2, BIE11, BCE6, BCE8, EEC1	56	Consumismo en centros comerciales vs. bienestar y entretenimiento; mitigación o adaptación al cambio climático; impactos covid-19; urbanización vs. destrucción de la biodiversidad; xenotrasplantes de animales; carnívoros vs. vegetarianos; transgénicos vs. alimentos naturales; producción de energía vs. cementerios nucleares; comprensión histórica de la ciencia.	CTED9, CHPE10, BEP3, BIE19, BPEC12, PRI4, PRE1	44

Fuente: elaboración propia.

La tabla 10 explicita que en el abordaje de controversias en la formación inicial de profesores de ciencias predomina el tratamiento sociocientífico frente a lo ambiental; aun así, este último es significativo, ya que el 44 % de los trabajos se orientan a trabajar las cuestiones sociocientíficas destacando los impactos ambientales.

Abordaje de las CSCA en la práctica docente

El mejoramiento de prácticas docentes constituye uno de los elementos más importantes de la formación permanente de profesores(as), que puede entenderse como un proceso reflexivo y crítico sobre la enseñanza en el aula o en otros espacios escolares y extraescolares. Desde el punto

de vista de la teoría crítica la formación no es dada en cursos o capacitaciones que se ofrecen por parte de profesores universitarios, especialistas o estándares curriculares que determinan qué y cómo enseñar, sino que se construye en las instituciones escolares en los procesos de interacción de los(as) profesores(as) con los estudiantes, el contexto social y las propias relaciones entre ellos, así como las relaciones establecidas con directivos, padres de familia y comunidad.

Las prácticas docentes son procesos complejos de producción de conocimiento sobre el ejercicio de la enseñanza y deben contribuir con la construcción de la autonomía docente, entendida como construcción colectiva que se potencializa cuando el profesorado trabaja CSCA en su práctica como un proceso creativo de investigación que contribuye con la comprensión de las relaciones CTSA por parte de los estudiantes, fomentando de esta manera el pensamiento crítico y la toma de decisiones responsable (Martínez, 2012).

El mejoramiento de la práctica docente a partir del abordaje de las CSCA se fortalece cuando es producto de un proceso investigativo en el aula o en el escenario educativo en el que actúe el(la) profesor(a), al tiempo que abarca un compromiso político y epistemológico que puede fundamentarse en Freire (2002) porque ofrece una concepción dialéctica y dialógica de la práctica, al considerar que no hay enseñanza sin investigación ni investigación sin enseñanza. El(la) profesor(a) tienen el compromiso ético de activar su curiosidad epistemológica como instrumento esencial de la reflexión-acción, acción-reflexión sobre su actividad docente, así es posible trascender el reduccionismo ingenuo del oficio guiado por la espontaneidad o la cotidianidad. En la medida que investiguemos sobre lo que hacemos podemos mejorar y sobrepasar nuestra enseñanza.

La mayoría de los trabajos analizados sobre el abordaje de las CSCA en la práctica del profesor hacen alusión a experiencias de profesores de ciencias en la educación básica o secundaria, y unos casos se centran en

el(a) profesor(a) de física o biología en educación secundaria y media, así como un caso de la educación superior. Kist y München (2024) analizan la práctica docente al abordar la CSCA de los agrotóxicos en una materia de química. La práctica se mejora al formar ciudadanos críticos; sin embargo, la falta de tiempo y recursos limita drásticamente el trabajo interdisciplinario, que también se dificulta por vacíos en la formación inicial y permanente del profesorado en la educación en CTS, pues abarca potencialidades para mejorar práctica. Aunque se establecen importantes consideraciones sobre la constitución de prácticas reflexivas que aportan al aprendizaje de los estudiantes, no se discute particularmente la controversia sociocientífica y ambiental de los agrotóxicos.

Iribarren *et al.* (2023) investigan sobre la formación docente decolonial, con base en el diálogo de saberes entre grupos académicos y organizaciones socioterritoriales. A través de un estudio cualitativo sistematizan prácticas docentes descolonizadoras por medio de la pedagogización del conflicto ambiental. Caracterizan la CSCA del extractivismo inmobiliario, que hace alusión a la emergencia de resistencias sociales frente al megaproyecto de urbanización llevado a cabo en el delta del Paraná en Argentina, que desencadenó en 2008 la destrucción ilegal de más de 350 hectáreas de humedales, desplazando a su vez familias junqueras y pescadoras del arroyo Anguilas.

La CSCA sobre la construcción del megaproyecto en esta región de Argentina implicó la confrontación política y judicial entre los dueños del proyecto y las comunidades locales, que afortunadamente generó el orden judicial de suspensión de las obras Colony Park realizadas en el delta. Esta controversia logró resolverse temporalmente a favor de las comunidades, porque continúa la amenaza de la urbanización que exige de procesos formativos permanentes del profesorado apoyados por los autores del artículo gracias a la realización de talleres de educación popular.

En todo el proceso de pedagogización del conflicto, los autores citados logran deconstruir el pensamiento escolar basado en la ontología de la modernidad eurocéntrica y dan paso al pluriverso de ontologías que entrelazan saberes y prácticas de las comunidades, sustentando todo este ejercicio formativo en el pensamiento ambiental latinoamericano, las epistemologías del sur y los pensamientos de la Madre Tierra. Esto busca fortalecer las dinámicas sociales en el territorio, así como animan la producción de normas abiertas y flexibles por encima de las restricciones burocráticas que invisibilizan y clausuran el sentir de las comunidades.

Rozo *et al.* (2020) realizan una investigación-acción sobre la CSCA del cambio climático, para esto forman un colectivo de profesores de diferentes áreas con el fin de desplegar un diálogo de saberes que permita el entendimiento sobre la controversia tratada, la cual debe basarse en un punto de vista reflexivo, crítico y holístico para avanzar en estrategias de mitigación, más que de adaptación. Se promueve la formación investigativa de profesores desde sus inconformidades, sus esperanzas y luchas.

Los autores citados logran establecer un colectivo de trabajo en la escuela con profesores de educación física, ciencias sociales, matemáticas, física, biología, química, básica primaria, filosofía y educación ambiental. En él, abarcan prácticamente todas las áreas escolares y, a partir de estas, establecen un auténtico diálogo de saberes que posibilitó abordar la CSCA del cambio climático desde puntos de vista divergentes que superan la encrucijada entre el dualismo y las posibilidades para desarrollar acciones que aporten a revertir efectos del cambio climático en términos corporales y filosóficos basados en el buen vivir, las concepciones andinas y propuestas escolares para la sustentabilidad ambiental. Por ejemplo, enfatizan en prácticas sustentables orientadas a revertir el cambio climático en ecosistemas esenciales para Colombia, como los páramos.

Cox *et al.* (2023) explican cómo los profesores de educación ciudadana en Chile abordaron temas controvertidos en el aula. En su texto, se reconoce

el potencial para fortalecer la democracia, hubo un proceso de observación que no siempre se lleva a cabo de manera efectiva. Se identificaron varios problemas, como el miedo al conflicto, el temor a ser acusados de hacer propaganda y la falta de preparación de los docentes. Los temas tratados incluyen el cambio climático, los derechos humanos y dilemas éticos, como el aborto. Al tiempo, se destaca la necesidad de contar con estrategias de enseñanza más flexibles y la importancia de preparar a los futuros docentes en temas controversiales: el cambio climático, el aborto o el feminismo, desde una perspectiva crítica democrática, y concluye con la propuesta para que los docentes tengan una formación política y transformadora para abordar temas controversiales en el aula.

Brito y Araujo (2020) esbozan una investigación realizada en el estado de Pernambuco, municipio de Cabo de Santo Agostinho e de Ipojuca del nororiente de Brasil, cuyo objetivo consistió en identificar si los docentes de estos municipios utilizan el conflicto socioambiental generado por la instalación de un complejo industrial de varias empresas de Francia y Japón que pueden generar impactos relevantes. A partir de la implementación de entrevistas semiestructuradas y del uso del análisis de contenido de Bardin, establecen que dentro de los programas existentes en el municipio orientados a la educación ambiental no hay una reflexión sistemática de las acciones ambientales asociados al conflicto de la misma índole, por lo que es necesario atender esta demanda formativa desde una educación ambiental crítica que enfatiza en la participación de los estudiantes sobre estas realidades. Se llama la atención frente a la necesaria renovación de la formación inicial de profesores(as) de biología que supere la idea de que los seres humanos son agentes degradadores para dar espacio a otras posibilidades.

Sauerbier *et al.* (2021) realizan una investigación que tiene como objetivo desarrollar un núcleo de estudio con docentes en ejercicio para relacionar el enfoque CTS con contenidos científicos para estudiantes entre tres y cinco años. Realizan el estudio con siete profesores y setenta

estudiantes, así como caracterizan concepciones de los docentes sobre el enfoque CTS; a partir de esto escogen el tema del reciclaje y las 5 R para el diseño y la implementación de una secuencia de enseñanza haciendo uso del juego. Por último, los docentes entregaron un escrito describiendo sus percepciones sobre su trabajo y realizando una reflexión sobre la práctica.

Los autores citados trabajan el reciclaje como temática y no entran a discutirlo como cuestiones sociocientíficas; no obstante, este abarca importantes controversias asociadas al establecimiento de leyes que prohíban el uso de plásticos de un solo uso o, incluso, que avancen en su eliminación de gran parte de las actividades humanas. También pueden pensarse discusiones sobre la limitación o prohibición del consumo de determinados productos plásticos y prendas de vestir que son fabricados con sintéticos.

Sauerbier *et al.* (2021) muestran en su estudio aportes de un núcleo de estudio del enfoque CTS y la alfabetización científica con profesores de educación infantil, el cual se logra estructurar a partir de la interacción de profesores-investigadores de programas de posgrado y profesores de la escuela. En él, se recomienda continuar profundizando en los desafíos y posibilidades del enfoque CTS para la educación infantil, ya que puede aportar a mejorar los procesos de alfabetización de niños y niñas de temprana edad.

Silva *et al.* (2024) estudian la enseñanza de un profesor de ciencias de ocho años de experiencia a propósito de la construcción de prácticas epistémicas desde contextos de enseñanza de ciencias por investigación y por medio de las CSCA. Para eso observan por un año sus clases siguiendo una metodología etnográfica. El profesor trata cuatro actividades de investigación teórica y dos CSCA relacionadas con células madre y el uso de cigarrillos electrónicos. Los resultados obtenidos evidencian que las prácticas de investigación proporcionan más proposición y comunicación del conocimiento, mientras que las CSCA se utilizan más como actividades de evaluación, por lo que abarcan prácticas epistémicas diferentes.

De Carvalho *et al.* (2021) analizan el proceso de producción de una secuencia de enseñanza de carácter sociocientífico en un contexto de acción y formación de profesores, se evidencia que tematizan la realidad o contexto de los estudiantes, a la vez que resignifican la idea de contenido para abordar la ciencia con la tecnología, sociedad y ambiente, igualmente reconocen la actuación política y social del profesorado. Aunque el estudio presenta el abordaje de las CSCA como una estrategia crítica importante, no caracterizan específicamente las controversias tratadas.

Revel (2024) realiza un análisis crítico de la diabetes tipo II como una enfermedad vista desde un modelo hegemónico médico biologicista que no considera las causas de la dolencia asociadas a la pobreza. Se propone avanzar en la formación y práctica docente estudiando los distintos aspectos sociales, políticos y científicos involucrados en la enfermedad para, a su vez, mejorar la salud de los ciudadanos.

Bernal-Herrera *et al.* (2023) investigan el impacto de un debate sociocientífico sobre la elección de materiales para bicicletas (acero versus aluminio) en las habilidades argumentativas y de toma de decisiones de estudiantes de un máster en educación secundaria. El artículo destaca la importancia del pensamiento crítico en la educación científica, abordando problemas de la vida diaria. Adicionalmente, enfatiza en la necesidad de integrar cuestiones ambientales y de sostenibilidad en la educación en ciencia para mejorar la conciencia crítica y la toma de decisiones informadas.

Lencina *et al.* (2020) discuten las cuestiones sociocientíficas al reflexionar sobre la interrelación entre la ciencia y la educación en el contexto de cambios socioculturales. Desarrollan una aplicación tecnológica denominada *Hominizad@s*, diseñada para facilitar el aprendizaje de arqueología y antropología en estudiantes de secundaria. Este artículo destaca el papel de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación, promoviendo prácticas pedagógicas innovadoras que

buscan integrar saberes científicos con las realidades y necesidades de los estudiantes.

Los trabajos de investigación descritos anteriormente desarrollan principalmente metodologías cualitativas de tipo etnográfico, interpretativo e investigación-acción para aportar al mejoramiento de la práctica docente. Esto significa que los estudios orientados a cualificar, mejorar o transformar prácticas no son exclusivos de la investigación-acción, como ocurría en las décadas del siglo pasado. Se aprecian metodologías pluralistas que articulan diferentes enfoques para enriquecer la recolección de información y la constitución de análisis holísticos sin caer en visiones eclécticas o pragmáticas, pues con claridad se evidencia una articulación coherente de metodologías basadas en análisis racionales y éticos.

En la recopilación de textos se identificaron tres trabajos de investigación teórica o documental que realizan aportes reflexivos y críticos sobre la práctica docente. El primero de ellos fue realizado por Joaquín (2021), quien explica cómo las escuelas secundarias enfrentaron los retos de la educación durante la pandemia de la covid-19. El autor realizó encuestas y entrevistas a docentes y estudiantes, que revelaron las tensiones y dificultades que ambos grupos vivieron. Se destaca que los estudiantes valoraron mucho el esfuerzo de sus maestros en ese tiempo y expresaron su deseo de volver a la escuela para reencontrarse. En él se propuso actualizar las prácticas docentes a partir de los aprendizajes de la pandemia que exigió superar el paradigma individualista para hacerlo dialogar con un paradigma del conocimiento abierto, ubicuo y colectivo sin perder calidad. El segundo trabajo fue realizado por Valladares (2022) y destaca la importancia de desarrollar en la práctica docente una pedagogía del riesgo, especialmente en el contexto de la pandemia de la covid-19. Se expresa la necesidad de alfabetizar científicamente a los estudiantes para comprender, gestionar y comunicar riesgos, integrando tanto perspectivas técnicas como sociales. Entre las CSCA tratadas, se incluyen las implicaciones éticas, sociales y culturales del riesgo; los debates sobre vacunación y cambio climático.

Se propone un metamodelo didáctico basado en controversias que fomenten el pensamiento crítico, la argumentación y la toma de decisiones responsable frente a problemas globales y ambientales.

El tercer trabajo realizado por Costa *et al.* (2020) analizan las consecuencias socioambientales del desastre de la minería ocurrido en 2015 en el río Doce, en Brasil, para esto utilizan el cine contrahegemónico como herramienta educativa y de investigación. Los autores proponen una formación docente crítica que conecte la educación ambiental, la ecología política y el cambio climático. Evidencian cómo los reportajes y documentales producidos en la región revelan los impactos del desastre en las comunidades locales, cuestionando las narrativas dominantes y promoviendo la reflexión sobre las desigualdades sociales y ambientales. Se plantea el cine como medio para empoderar a educadores y comunidades en la lucha por la justicia socioambiental y transformación social.

Todos los trabajos analizados anteriormente demuestran aportes importantes a la práctica del(a) profesor(a) de ciencias en diferentes niveles educativos al tratar temáticas CTS o CSCA, en algunos casos se logra realizar un abordaje de las problemáticas ambientales relacionadas con las controversias científicas y tecnológicas. De esta manera, constituyen una enseñanza sociocientífica y ambiental relevante para las demandas sociales y educativas actuales. Aún hay trabajos que enfatizan el estudio de las concepciones, percepciones, representaciones sociales, opiniones o actitudes del profesorado en ejercicio, continuando esta línea de trabajo didáctica que sienta sus bases en la filosofía del sujeto o en aspectos psicológicos. Aunque este tipo de investigación es importante, debe articularse a una perspectiva discursiva basada en las prácticas de los maestros y los procesos de producción en la interacción que se hace con estudiantes y otros agentes educativos a través del lenguaje, que es la base de la comunicación y la interacción social. En la perspectiva de analizar concepciones emancipatorias de profesores en procesos de producción discursiva, Archanjo y Tormohlen (2022) estudian las relaciones entre educación ambiental crítica y la tecnología

social, destacando sus aportes al desarrollo de acciones societarias para avanzar en la superación de demandas socioambientales. El estudio desarrollado con profesoras en ejercicio de educación infantil caracteriza la emancipación a partir de una acción educativa y concepción ambiental emancipatoria. Por su parte, Cordeiro *et al.* (2023) caracterizan opiniones de un grupo de estudiantes de medicina veterinaria en Brasil, cuyas clases implicaban el uso de animales por parte de profesores para la enseñanza. El texto identifica la incomodidad de los estudiantes de este uso por el daño físico o psicológico en animales, frente a lo cual se invita a implementar otras propuestas de enseñanza basada en recursos, como el uso de videos, *softwares* o cadáveres de animales; sin embargo, los profesores se oponen a estas alternativas. De este trabajo se infiere una gran CSCA en la propia enseñanza que puede trabajarse con mayor profundidad en la formación de profesionales de ciencias de la salud, pues además de analizar el uso de animales para la experimentación científica se discutiría el daño ambiental en la propia enseñanza, que al desconsiderar los derechos de los animales se aleja significativamente de uno de los principios de la justicia ambiental, el cual va más allá de los derechos humanos para sustentar la posibilidad de instituir los derechos de la naturaleza. Por último, fue encontrado tan solo un trabajo de investigación que detalla la formación inicial de profesores y la formación y práctica docente de profesores en ejercicio. El primero de ellos, trata la existencia de las razas humanas como CSC para fomentar valores como justicia e igualdad en la formación inicial y permanente de profesores (De Carvalho y Lopes, 2021). En el estudio participaron once profesores en formación inicial, cuatro profesores en formación continua y siete licenciados de la Universidade Federal de São Carlos, Brasil, los cuales produjeron narrativas y estrategias de enseñanza con el uso de la CSCA sobre racismo. En él, se destaca la generación de espacios democráticos y de análisis críticos frente al racismo en Brasil y su relación con la ciencia y la tecnología. A partir del análisis de los anteriores trabajos con relación al grado de importancia atribuido a la dimensión ambiental se construyó la tabla 11, en la cual se clasificaron aquellos que permanecían en el

tratamiento de aspectos sociocientíficos que aluden a lo ambiental, pero sin profundizar en el tema; al igual que aquellos que logran abordarlo de forma amplia. Tal como se hizo con el análisis de los trabajos considerados para la formación inicial de profesores de ciencias se hace para el análisis de los trabajos asociados a la práctica de profesores en ejercicio. Los datos establecidos en la tabla 11 para el caso del abordaje de controversias en la práctica de profesores de ciencias son prácticamente iguales a los reportados para la formación inicial de profesores, ya que el 57 % hacen al abordaje sociocientífico sin mayores consideraciones ambientales, y el 43 % tratan los impactos ambientales al abordar las controversias. En el caso de la formación inicial de profesores, los datos relacionados en la tabla 11 fueron el 56 % y el 44 % respectivamente.

Tabla 11. Clasificación del abordaje de controversias tratadas en la formación continua de profesores de ciencias de acuerdo con el predominio sociocientífico o ambiental

Predominio sociocientífico (-Ambiente)	% -A	Controversias tratadas	Predominio ambiental (+Ambiente)	%+A
CTED1, CHPE3, ACT2, AES1, BIE12, BPEC3, BCE3, BPEC17	57	Agroquímicos vs. agricultura orgánica o sustentable; extractivismo inmobiliario vs. sustentabilidad; caza de cangrejos vs. producción sostenible; mitigación o adaptación al cambio climático; impactos de la covid-19; conflictos ambientales promovidos por multinacionales; consumo de cigarrillos electrónicos; uso de animales para enseñar medicina veterinaria; uso de acero vs. uso de aluminio en la industria; comprensión social de la diabetes vs. comprensión biológica; uso de células madre.	CTED7, CTED10, CRG1, CND1, BIE6, EEC5	43

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los análisis esbozados sobre el abordaje de controversias en la investigación realizada en el ámbito iberoamericano, tanto en la formación inicial de profesores como en las prácticas de los profesores, se evidencia que entre 2019 y 2024 la dimensión ambiental comenzó a hacer parte estructural de las controversias sociocientíficas, lo cual es coherente con la propuesta teórica que se ha presentado en los primeros capítulos de este libro, y que refiere a la necesaria conceptualización del abordaje de las CSCA en la enseñanza de las ciencias en diálogo con la educación ambiental, por lo que es necesario ir más allá del tratamiento sociocientífico que caracteriza los trabajos realizados en esta perspectiva desde inicios del siglo XXI. Las CSCA presentadas en las tablas 10 y 11 se han escrito como potentes controversias que tienen grandes potencialidades para trabajar la educación en ciencias de los ciudadanos, al igual que ciudadanos en el contexto de pensar la crisis ambiental que padecemos como humanidad y que requiere un tratamiento específico en la enseñanza de las ciencias, especialmente desde las prácticas de los profesores en los distintos escenarios escolares y extraescolares.

Para seguir pensando: ¿el modelo de medición de Minciencias pretende incentivar la investigación?

En la siguiente lectura se ofrece una reflexión sobre el modelo de medición adoptado por Publindex del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. A partir de su lectura proponga diferentes alternativas para democratizar el conocimiento científico y para potencializar la investigación en la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental por parte de los propios profesores(as) y educadores(as), que actúan en espacios escolares y extraescolares.

¿El modelo de medición de Minciencias pretende incentivar la investigación?

Publicado en *El Espectador* el 4 de junio de 2021.

Leonardo Fabio Martínez Pérez

El acuerdo suscrito entre el Gobierno nacional y las plataformas estudiantiles y profesoriales el 14 de diciembre de 2018 no solamente contempló aspectos esenciales de sostenibilidad financiera de las universidades públicas en términos de recursos para la base presupuestal e inversión, también implicó en el punto 15 una revisión profunda sobre las políticas públicas para publicaciones científicas y divulgación de conocimiento lideradas por el entonces Colciencias, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. El acuerdo suscrito indica:

Las universidades públicas, editores, estudiantes de pregrado y posgrado, academias de ciencias e integrantes de la mesa de diálogo serían responsables de revisar las políticas públicas para publicaciones científicas y de divulgación en Colombia y hacer los comentarios pertinentes. Esa política pública debe incluir la identificación y valoración de un nuevo conocimiento derivado de todas las áreas, reconociendo los saberes tradicionales y ancestrales dentro de los diversos ejercicios de producción intelectual desde la cosmovisión de las diferentes etnias entendiendo la diversidad y la multiculturalidad.

En este orden de ideas, el pasado 16 de abril en mesa nacional de diálogo como representante del Sistema Universitario Estatal (SUE), expuse sendas consideraciones derivadas de un análisis crítico sobre los ajustes que se llevaron a cabo en el nuevo modelo de medición de Minciencias, tomando como insumo un documento elaborado por el profesor Alexis Pinilla, subdirector de investigación de la Universidad Pedagógica Nacional.

El punto central del análisis se puede basar en los estudios sociales de la ciencia realizados desde la perspectiva latinoamericana en los cuales se hace alusión a la necesidad de generar políticas públicas y estrategias que fomenten y fortalezcan la investigación de las comunidades locales en los territorios, las alianzas estratégicas en América Latina y puedan constituir un nuevo referente para balancear el desequilibrado panorama de producción científica en el mundo, donde los modelos de producción están basados en estándares de los países “desarrollados”, perpetuando la distribución de países de centro como aquellos productores de conocimiento y tecnología de punta, y periferia como los nuestros, que simplemente consumimos conocimiento científico y tecnológico.

Autores como Pablo Kreimer, de la Universidad Nacional de Quilmes de Argentina, han hecho referencia a la necesidad de cuestionar estos modos de producción y circulación del conocimiento, evidenciando la necesidad de construir dinámicas más justas que respondan a las características y necesidades del contexto latinoamericano. En tal sentido, en el presente escrito me dispongo a realizar un análisis de los ajustes hechos a los parámetros de medición de grupos de investigación, válidos también para el modelo de medición de revistas científicas en Colombia.

El modelo que se ha instaurado en las últimas convocatorias, tanto de medición de grupos de investigación e investigadores como de revistas, ha estado basado en el número de publicaciones nacionales en revistas europeas o norteamericanas y el porcentaje al que equivalen esas publicaciones a nivel mundial; por ejemplo, en datos de 2018 en los que Colombia tenía un bajo aporte equivalente al 0,2 % de la producción mundial según estándares internacionales, debido a que del 86,4 % de los artículos que se publicaron en revistas nacionales solo el 13,8 % fue acreditado en bases de datos como *Web of Science* o *Scopus* y el 45 % de revistas se catalogan como de bajo impacto aunque estén acreditadas por Publindex.

A partir de eso, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación ha centrado la mirada en un modelo que se adapte cada vez más a las exigencias impuestas por las plataformas europeas y norteamericanas, sin reconocer las trayectorias y trabajos realizados por los equipos académicos de las revistas nacionales. Esto se ha plasmado en los modelos de medición de los últimos años, como se puede observar en los resultados de las convocatorias, mientras que en el índice bibliográfico nacional (IBN) de Publindex para el 2014 había 523 revistas clasificadas (29 en A1, 146 en A2, 122 en B y 226 en C), en la convocatoria 768 del 2016 pasaron a ser 246 revistas y en la convocatoria 830 del 2018 quedaron 275 revistas categorizadas, de las cuales solo 3 alcanzaron la categoría A1 y 10 la categoría A2. Si se compara con la clasificación que existía en el 2014, la reducción del número de revistas indexadas fue cercana al 50 %; si se observa de manera general, las categorías A1 y A2 se redujeron en un 93 % en cada una. Estos resultados, lejos de fortalecer la producción académica nacional, reflejan el valor que tienen los esfuerzos y la trayectoria de los equipos académicos de las publicaciones nacionales para estos procesos de medición y quienes los proponen. En suma, esta situación también impacta de manera directa los salarios de los profesores de carrera de las universidades públicas, para quienes la manera de mejorar sus condiciones salariales es a través de la productividad académica. Partiendo del análisis realizado por el profesor Alexis Pinilla, en esta versión, en la convocatoria 894 del 2021 de Minciencias se pueden apreciar cuatro cambios importantes: el primero [de ellos está asociado al campo de la apropiación social del conocimiento y la divulgación pública de la ciencia; si bien de manera general conserva definiciones propuestas en la anterior convocatoria y evidencia la intención de fortalecer los vínculos de los grupos de investigación con las comunidades y la circulación del conocimiento especializado entre pares académicos, no tiene en cuenta el periodo pandémico por el que atraviesa el país.

Asimismo, aparece como nuevo aspecto la tipología producción bibliográfica, la cual agrupa aquellos productos que no alcancen los niveles de

libro de investigación o capítulos de libros de investigación en los productos de generación de nuevo conocimiento. Esta última categoría agrupa libros de formación, boletines divulgativos de resultado de investigación, libros de divulgación de investigación o compilación de divulgación, manuales y guías especializadas y libros de creación; no obstante, el peso que tienen estos productos para establecer el indicado del grupo de investigación es inferior al de los productos catalogados de nuevo conocimiento. Esto puede tener una incidencia en la clasificación de los grupos de investigación, ya que productos valorados en categorías altas en anteriores mediciones pueden perder su valor en la actual convocatoria. El segundo cambio está referido a la tipología de libros y capítulos de libros de investigación, ya que fueron modificadas sus definiciones, requerimientos de existencia y de calidad. De acuerdo con el análisis realizado por Ossa, Cudina y Burbano y por el profesor Pinilla, los cambios en estos productos se pueden resumir así: los productos A1 están asociados al reconocimiento de premios o menciones especiales de trayectoria nacional o internacional; se deben ubicar en el primer cuartil superior de su gran área de conocimiento y deben ser editados por un fondo editorial externo a la institución a la que es afiliado el autor; el *software* de Minciencias filtrará las citas registradas en los últimos diez años, excluyendo aquellas provenientes de investigadores que tengan la misma filiación institucional de los autores. En contraste, en la convocatoria 833 de 2018, estos productos se clasificaron como A1 si el libro resultado de investigación había sido citado en revistas categoría A1, A2, B o C o en libros categoría B. Estos ajustes en la manera de valorar los capítulos de libros y libros producto de investigación pueden traer consecuencias tanto en la tarea que vienen desarrollando los fondos editoriales de las universidades en materia de divulgación del conocimiento que producen sus investigadores como en el uso que la comunidad universitaria hace de los productos derivados de la actividad investigativa. Estos cambios pueden desincentivar la financiación editorial por parte de las universidades, causar la migración de la producción interna a otros fondos editoriales y traer implicaciones en los indicadores que se presentan en los procesos de acreditación del Consejo Nacional de

Acreditación. Como tercer punto se encuentra el tema de los cuartiles a partir de las grandes áreas de conocimiento, cuya clasificación fue tomada de la realizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que define seis grandes áreas dentro de las que se encuentran: ciencias naturales, ingeniería y tecnología, ciencias médicas y de la salud, ciencias agrícolas, ciencias sociales y humanidades. Para el caso de la Universidad Pedagógica, los grupos de investigación se encuentran adscritos al área de ciencias de la educación, la cual, a su vez, hace parte de la gran área de las ciencias sociales junto a otras ocho áreas: psicología, economía y negocios, sociología, derecho, ciencias políticas, geografía social y económica, periodismo y comunicaciones y otras ciencias sociales.

Con los cambios realizados, nuestros grupos de investigación deberán medirse no solo con la producción de grupos adscritos al área de ciencias de la educación, sino que además competirán con los productos de los grupos registrados en las otras ocho áreas que hacen parte de las ciencias sociales en el modelo de la OCDE. De nuevo, existe la posibilidad de que productos ubicados en las más altas categorías en la convocatoria 833 pierdan esta condición en la actual medición, lo cual pondrá en peligro la clasificación actual de los grupos.

Finalmente, el cuarto aspecto está relacionado con la trayectoria de los investigadores y las altas exigencias para que puedan ser promovidos de categoría junior a asociado, lo que se restringe a su productividad en la ventana de observación, desconociendo su trayectoria académica. En síntesis, la convocatoria para el reconocimiento y medición de grupos e investigadores 894 de Minciencias, lejos de fortalecer e incentivar la investigación, puede entenderse como una estrategia de contención y, en algunos casos, de regresión, lo que plantea un panorama desolador sobre los alcances, metas y desafíos de la investigación en el país; en tal sentido, realizamos un llamado al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación a replantear esos requisitos con unos más acordes a las realidades y necesidades de nuestro país.

Problemáticas sociocientíficas y ambientales en la práctica docente

Como fue sustentado en el tercer capítulo de este libro, el abordaje de las Cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) constituye una categoría relevante para la enseñanza de las ciencias, en cuanto abarca aspectos históricos, filosóficos y sociológicos para entender el origen de gran parte de los problemas ambientales que enfrentamos en nuestra sociedad. Por ello, entra en sintonía con los elementos formativos de la educación ambiental que se basa en el análisis de la crisis civilizatoria de la sociedad occidental, incluyendo el cuestionamiento a la instrumentalización de la ciencia articulado con el progreso económico capitalista.

Es posible ampliar la conceptualización de las CSCA, a partir del establecimiento de relaciones significativas entre la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental, que a pesar de establecer dos campos de conocimiento con sus propias epistemologías y metodologías, pueden configurarse diálogos productivos entre ellos. Esto con el ánimo de ir más allá de la fragmentación del conocimiento que se ha consolidado en la instrumentalización de la racionalidad científica en la modernidad y que aún influye fuertemente en el desarrollo de propuestas de enseñanza y currículos fragmentados que privilegian el conocimiento de las disciplinas

científicas sin contextualizarlas a las problemáticas socioambientales que viven los estudiantes y sus comunidades en los escenarios escolares y en sus territorios.

Según Santos (2000), el currículo fragmentado no ofrece a través de sus disciplinas una comprensión de la totalidad, ni favorece la comunicación y el diálogo de saberes, las asignaturas con sus contenidos rígidos no se integran o complementan. En consecuencia, dificulta la comprensión de la red existente en la naturaleza y la construcción de una concepción multi-dimensional de la ciencia y el ambiente que favorezca la formación de los estudiantes, ciudadanos y ciudadanas más como sujetos y colectivos planetarios que como individuos aislados y consumistas.

Para tratar la ciencia más allá de sus disciplinas se hace necesario rescatar el pensamiento complejo propuesto por Morin (2002), que cuestiona las pretensiones epistemológicas de atribuir objetividad a los enunciados científicos, demostrar la validez de la ciencia por las verificaciones empíricas y construir una lógica coherente con las teorías científicas por las evidencias objetivas construidas. Estos son los problemas esenciales de las disciplinas científicas basadas en la concepción positivista o empírico-analítica, que intentan dotar a la ciencia de una lógica segura, libre de incertidumbres y subjetividades para, así, diferenciarla de otros tipos de conocimientos o saberes.

La complejidad es un conocimiento dinámico, dialéctico y, por lo tanto, en constante evolución y transformación. Implica comprender la objetividad no solo como un criterio de la validez científica que se construye gracias a la contrastación crítica de teorías con evidencias empíricas, sino que a su vez es producto de consensos socioculturales e históricos que establece una comunidad o sociedad científica, es decir que también abarca procesos intersubjetivos entre los agentes que producen ciencia, lo que evidencia que no puede escapar a los principios y valores humanos que abarca intereses, ideologías y luchas por el poder. La construcción de

consensos demanda discusiones, controversias, puesta en escena de diferentes puntos de vista que entran en disputa. Así, las teorías científicas no son objetivas, sino subjetivas-objetivas y, desde la complejidad, no existiría la fragmentación entre sujeto y objeto, ser humano y naturaleza, más bien una relación inseparable entre todas estas dimensiones.

A su vez, la complejidad considera que el conocimiento científico tiene sus raíces en la cultura y en la sociedad, compone una forma creativa y sistémica de producir ideas gracias al lenguaje que también es una construcción cultural. Por ello, la fragmentación del conocimiento científico en disciplinas presenta grandes limitaciones, como sustenta Morin (2002), la conformación de objetos de investigación por disciplinas deviene en la generación de mayores vacíos, lo que él denomina *desconocimiento del propio conocimiento*. A saber, la sociología de la ciencia al desconectarse de la historia de las ciencias trae grandes lagunas; el estudio del cerebro por parte de la biología desconoce que este también puede estudiarse por las ciencias humanas, por ejemplo, desde la psicología y el psicoanálisis. Desde el punto de vista de la complejidad, el cerebro se estudia en relación con el espíritu, lo que constituye la bioantropología del conocimiento. Asimismo, las teorías científicas son estudiadas con base en sistemas de ideas, paradigmas o principios organizadores, o en partida de la propia lógica, estableciendo una sociología del conocimiento asentada en las relaciones sociedad-cultura.

Además de lo señalado, la complejidad nos aporta una nueva forma de entender el conocimiento más allá de la fragmentación de las disciplinas. Razón por la cual cimienta un proceso incierto, frágil, difícil y, en ocasiones, trágico. En atención a este pensamiento podemos establecer relaciones entre campos aparentemente tan diferentes y distantes, como lo son la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental para fundamentar la práctica docente al abordar las CSCA.

Se trata de asumir el riesgo de la incertidumbre, del desconocimiento, para poder conocer y aprender a partir de la interdisciplinariedad de las ciencias y del diálogo de saberes entre ciencias y otras culturas. El propio Morin (2002) nos ayuda a entender que la complejidad existe desde el comienzo de las sociedades arcaicas, por lo tanto, se trata de rescatarlo a través de la historia para vivirlo intensamente en nuestro presente y, así, enfrentar de mejor forma los problemas que experimentamos en la enseñanza:

A su vez, nuestra sociedad no se purificó de la mitología. La mitología se instaló incluso en el seno de la ciencia, de la razón, del progreso. La no-razón convive con la razón en el corazón de la universidad y de los institutos científicos. Por eso decimos: la razón y la no-razón son dos aspectos del mundo muy bien distribuidos; el buen sentido y el mal sentido son las cosas del mundo mejor distribuidas. No hay corte epistemológico radical. No hay una ciencia pura, no hay un pensamiento puro, no hay una lógica pura. La vida se alimenta de impurezas, o mejor, la realización y el desarrollo de la ciencia, de la lógica, del pensamiento requieren de estas impurezas. (Morin, 2002, p. 34) [Traducción propia]

Varios investigadores en la enseñanza de las ciencias en América Latina han establecido el diálogo fecundo entre enseñanza de las ciencias y educación ambiental (Santos, 2000; Mora, 2012; Siquiera y Junior, 2021; García *et al.*, 2022; Martínez, 2024a). La comunicación entre ambas ofrece, en primer lugar, la posibilidad de construir una nueva concepción epistemológica basada en la crítica a la racionalidad técnica de la ciencia articulada al progreso capitalista, el reconocimiento de la complejidad para una comprensión amplia de la totalidad de los problemas actuales, así como la visión sistémica, multidimensional, transdisciplinar y dialógica.

Según Santos (2000) la transdisciplinariedad emerge como alternativa a las limitaciones y pocos avances de la interdisciplinariedad. Se materializa a través de la inclusión de temas transversales en la enseñanza, como

lo son las CSCA, con ello organiza una nueva forma de pensamiento complejo que trata la crisis socioambiental desde una visión global y local. Esto posibilita la interacción entre objetividad, subjetividad, afectividad y espiritualidad. La transdisciplinariedad hace alusión a una comprensión compleja de las relaciones ser humano-sociedad-naturaleza porque analiza la red de conexiones existentes en permanente movimiento y transformación. En segundo lugar, el principio sobre la sustentabilidad propio de la educación ambiental puede transformar la instrumentalización de la ciencia en la sociedad capitalista para dotarla de una nueva orientación basada en la comprensión del propio funcionamiento ecológico de la vida en la naturaleza. Es decir, basados en la epistemología ambiental propuesta por Enrique Leff, la ciencia pueda ofrecer importantes alternativas frente a la crisis ambiental para producir materia y energía sin romper los propios equilibrios ecológicos de la naturaleza (Martínez, 2024a).

A partir de la concepción teórica sobre sustentabilidad propuesta por Leff (2019) se puede articular la enseñanza de las ciencias con la educación ambiental, en términos de promover la formación científica sobre problemas socioambientales que buscan sustentar y promover prácticas respetuosas de todas las formas de vida del planeta. En consecuencia, que restrinjan y transformen el modelo de desarrollo sostenible promovido en las políticas internacionales plasmadas en la agenda 2030 y en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), pues estos impulsan alternativas de producción y consumo de la sociedad occidental manteniendo el modelo económico capitalista con su lógica mercantilista y extractivista.

La perspectiva del modelo de desarrollo sostenible busca la adaptación y, en el mejor de los casos, la mitigación de los impactos antrópicos en la naturaleza con la promesa que a partir del conocimiento científico y tecnológico se pueden solucionar los graves problemas ambientales asociados a destrucción de ecosistemas, agotamiento de agua potable, contaminación de aire, suelo y agua, cambio climático, pérdida de la biodiversidad, entre otros. En este sentido, Leff (2019) critica el desarrollo sostenible por su

reduccionismo al fomento de una economía verde, que no trasciende la racionalidad hegemónica impuesta por el capital.

El manifiesto por la vida coloca con claridad la crítica al desarrollo sostenible planteando que este parte de armonizar el proceso económico con la conservación de la naturaleza. A su vez, propone un balance entre la satisfacción de necesidades actuales y las de las generaciones futuras; sin embargo, este es tan solo un mito porque las demandas actuales de la sociedad superan los límites de la propia naturaleza (Galano *et al.*, 2002).

La sustentabilidad ambiental rescata los saberes y las prácticas de las comunidades ancestrales para favorecer el reencuentro de la sociedad con la naturaleza, de tal modo, las distintas esferas económicas, políticas, sociales y culturales se transforman. Se da paso a una economía basada en la producción solidaria y no en el lucro, se rescata la producción de alimentos por parte de las comunidades en sus territorios para alcanzar la soberanía alimentaria. La ciencia y la tecnología pueden contribuir con mejorar la propia producción agrícola de las comunidades, de manera que el Estado puede apoyarla y fomentarla para generar, por ejemplo, proyectos agroecológicos.

En tercer lugar, la educación ambiental, especialmente de corte crítico, llama la atención a la enseñanza de las ciencias para que también contribuya con la búsqueda de la justicia ambiental, la cual, según Leff (2021), cuestiona el concepto tradicional de *justicia* que demanda equidad y una repartición de los beneficios de la vida con cada persona basada en el principio moderno de equivalencia, para posibilitar el establecimiento de un valor monetario de todas las cosas; desde esta perspectiva, los daños ocasionados a la naturaleza pueden compensarse a través de pagos. Esta lógica tradicional del derecho moderno sustenta la política de los créditos de carbono, a partir de los cuales los países que producen gran cantidad de gases efecto invernadero pueden continuar emitiéndolos desde que paguen para ello. La justicia ambiental rompe con el principio de equivalencia

instaurado por el derecho moderno y reivindica los principios de diversidad, diferencia y otredad que sustentan los derechos comunes de los pueblos.

La justicia ambiental reivindica la necesidad de controvertir el sentido moderno de justicia y proclama por la construcción de un nuevo marco jurídico que permita dirimir los conflictos socioambientales a partir del respeto de todas las formas de vida de la naturaleza. No obstante, reconocer derechos a la naturaleza es un proceso político y jurídico complejo porque la justicia se ha construido de acuerdo con una concepción antropocéntrica.

Desde el nacimiento del marco jurídico contemporáneo, que ocurrió en 1948 con la formalización de la Declaración Universal de los Derechos Humanos por parte de las Naciones Unidas, solo se pensó en el ser humano. Así, emergieron los derechos de primera generación, considerados como fundamentales: el derecho a la vida, la libertad y el voto. Después se fueron consagrando los derechos de segunda generación para atender las exigencias sociales, tales como el derecho a la educación, a la salud y al trabajo.

En el marco jurídico internacional solo hasta el momento en que se comprendió que la alteración de la naturaleza, o mejor, de las relaciones del ser humano con la naturaleza (ambiente) podría afectar derechos fundamentales como la vida, se comenzó a pensar en el derecho de un ambiente sano y, a partir de esto, se fue incorporando este derecho en algunas constituciones; al tiempo que comenzó a hacer parte de los derechos de tercera generación, junto con los derechos a la paz y a la solidaridad.

Frente al desconocimiento de los derechos de la naturaleza en el marco jurídico normativo contemporáneo, Gudynas (2014) plantea que una forma de comenzar a avanzar en ellos consiste en profundizar en los derechos de tercera generación, resaltando aquellos que hacen alusión a un ambiente sano, pues de estos se derivan compromisos concretos de los

gobiernos para proteger a la naturaleza. El autor destaca en el ámbito de Latinoamérica que entre las décadas de 1980 y 1990 se avanzó en prácticamente todos los países el reconocimiento de derechos ambientales sustantivos, a excepción de Uruguay, que no los incorporó en su constitución. En Colombia, Argentina, Brasil, Ecuador y Venezuela se avanzó en marcos normativos para establecer procedimientos que protegieran la naturaleza, generaran responsabilidades individuales frente al ambiente y obligaciones gubernamentales. Tan solo en Bolivia y Ecuador se propuso avanzar en el reconocimiento directo de los derechos la naturaleza. Así, Ecuador se convirtió en el primer país del mundo en reconocer este tipo de derechos, según lo dictado en el séptimo capítulo de la constitución ecuatoriana de 2008:

Capítulo séptimo. Derechos de la naturaleza. Artículo 71 La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema. (Constitución de la república del Ecuador, 2008, p. 33)

El artículo 72 de esta constitución reconoce que la naturaleza tiene derecho a la restauración y el 73 estipula que el Estado aplicará medida de precaución y restricción para las actividades que conduzcan a la extinción de especies, a la destrucción de ecosistemas y a la alteración de los ciclos

naturales. El artículo 74 consagra el derecho a beneficiarse del ambiente siempre que permitan el buen vivir.

La enseñanza de las ciencias puede orientarse al análisis de conflictos socioambientales para efectos de promover la participación ciudadana, formar en valores democráticos y fundamentar acciones que redunden en avanzar en la formalización de los derechos de la naturaleza. En cuarto lugar, la enseñanza de las ciencias puede aportar a los procesos de alfabetización científica y ambiental. De acuerdo con una perspectiva crítica propuesta por Freire y Nogueira (2001) podemos comprender dicha alfabetización como un proceso de lectura y problematización del mundo, esto significa que los profesores y profesoras comienzan la enseñanza reconociendo que sus estudiantes son sujetos históricos que tienen un historia y un saber, a partir del cual leen su entorno, su contexto, su territorio e inician un diálogo profundo para que puedan despertar la curiosidad epistemológica que implica conocer la naturaleza y su relación con el ser humano.

La lectura del mundo natural y la alteración generada por parte de las prácticas depredadoras y extractivistas de la sociedad occidental constituye un punto común de encuentro entre estudiantes, profesores y profesoras porque en los distintos contextos que habitan existen problemáticas ambientales que evidencian los impactos antrópicos en la naturaleza. Esto necesariamente abarca controversias y conflictos que son de interés para los agentes que actúan en la escuela y la comunidad. La rigurosidad propia de la actividad científica no escapa a la naturaleza humana que estructura el pensamiento y, por esta razón, discutir ideas ingenuas o erróneas en los procesos formativos constituye un elemento importante de la alfabetización, ya que dinamiza conocer más y superar las barreras u obstáculos que se presentan en el aprendizaje. Asimismo, el estudio científico de la naturaleza, aunque reposa en su máxima elaboración en los textos producidos por la comunidad de especialistas, libros de texto o materiales elaborados sobre estos, en la enseñanza crítica no se comienza por ellos, sino por los saberes

de los estudiantes contruidos en su cultura para que en ese punto de partida puedan construir nuevos sentidos frente a los textos científicos.

La alfabetización es un proceso político y no neutro, por lo tanto, abarca un compromiso ético con la formación en ciencias y las cuestiones ambientales, de tal manera que contribuye con la ciudadanía. Esto significa que la alfabetización no genera la educación ciudadana; al contrario, aporta a su conquista individual y social porque genera nuevos elementos para que los estudiantes o educandos puedan participar crítica y propositivamente en la materialización, por ejemplo, de la justicia ambiental que demanda la resolución de las CSCA.

La comprensión crítica sobre la alfabetización va más allá de los planteamientos anglosajones que sustentan el término *Scientific literacy* en Estados Unidos o *Public comprehension of Science en Inglaterra*, pues retomando autores de larga data, como Miller (1983), a partir del cual se derivan muchos trabajos al respecto, se define con base en tres puntos estructurales: apropiación de términos y conceptos científicos, entendimiento de los procesos o métodos científicos y comprensión de impacto de la ciencia en la sociedad. Estos tres puntos se centran en la racionalidad científica y hacen parte de un proceso más amplio y complejo basado en la lectura del mundo, su problematización y acción transformadora.

En atención a la concepción freireana, Sasseron y Carvalho (2011) resaltan el poder emancipatorio de la alfabetización científica para que los estudiantes o educandos construyan una consciencia crítica, a partir de la lectura de su propio entorno. En este sentido, Maciel (2014) precisa que el proceso es colectivo y se lleva a cabo a partir de la constitución de círculos de cultura constituidos por grupos de educandos y, en el mejor de los casos, con la participación de miembros de su comunidad, así es posible formar para la participación y el ejercicio de la ciudadanía.

En el abordaje crítico de las CSCA, los procesos de alfabetización se estructuran siguiendo los anteriores elementos. Primero se parte de los

saberes de los estudiantes o educandos y luego se busca la lectura de las controversias escruñando en su complejidad los actores e intereses sociales involucrados; a continuación se busca cualificar la lectura a partir del estudio de los aportes de las ciencias y los saberes de las comunidades, generando así un diálogo fructífero que amplía la comprensión, así como dota de sentido las acciones individuales y sociales que visualizan diferentes posibilidades para gestar cambios frente a las controversias estudiadas.

La alfabetización crítica en la enseñanza contribuye a la comprensión dinámica, cambiante e incierta del conocimiento científico involucrado en las CSCA, a la vez que aporta a su entendimiento desde la necesaria formación ciudadana orientada a la acción informada y transformadora. De esta manera, como es planteado por Lamin-Guedes (2017), se aporta a la superación de una enseñanza de las ciencias simplista y a una educación ambiental conservadora que inmoviliza a los ciudadanos con la promesa que dentro de la lógica del capital es posible resolver la crisis civilizatoria. Por último, tanto la articulación entre educación ambiental como la enseñanza de las ciencias basadas en una concepción crítica pueden promover el pensamiento crítico y el desarrollo de acciones sociopolíticas en el estudiantado, en los ciudadanos y ciudadanas para construir nuevas alternativas sustentables frente a la hegemonía del capital junto con sus prácticas extractivistas y depredadoras.

El pensamiento crítico es uno de los componentes estructurales del abordaje de cuestiones sociocientíficas y puede entenderse como una competencia de alto grado de complejidad. Sin embargo, estos elementos que han orientado la investigación didáctica desde la década de 1990 pueden ampliarse con planteamientos filosóficos y pedagógicos críticos, como es propuesto por Torres y Solbes (2018), quienes consideran que la enseñanza de las ciencias puede aportar a que los sujetos se liberen de presiones externas e internas a partir de la crítica y la autorreflexión, sumergiéndose así en un profundo proceso de emancipación.

Según los autores citados, el cuestionamiento constante permite tomar mejores decisiones frente a las falacias del mercado, de la política y los medios de comunicación, logrando que los estudiantes o educandos puedan construir su autonomía e independencia intelectual emitiendo juicios propios. Esta perspectiva amplia del pensamiento crítico enriquecido desde la filosofía y pedagogía crítica se puede articular coherentemente con los presupuestos teóricos de la educación ambiental crítica, los cuales cuestionan profundamente la sociedad occidental gobernada por la lógica del mercado que impone patrones de consumo basados en el extractivismo y en la depredación de la naturaleza.

Ante esto, pensar críticamente la relación ser humano-naturaleza pasa por un proceso dialéctico de concientización a partir de la acción-reflexión, reflexión-acción, que posibilite la transformación de los problemas socioambientales. La *praxis* sustentada en la defensa de todas las formas de vida recupera la humanización perdida en los procesos de la globalización del capital que pregona una falsa ética de la libertad porque fortalece la riqueza de unos pocos y homogeniza la pobreza y la miseria de millones de personas. Al respecto, Freire (2002) sustentó que el “sistema capitalista alcanza en el neoliberalismo global el máximo de eficacia de su maldad intrínseca” (p. 144).

La educación ambiental crítica, según Moreno y Martínez (2022), basada en los principios de totalidad, complejidad, interdisciplinariedad y *praxis* educativa demanda el cuestionamiento permanente de las estructuras sociales responsables de la crisis ambiental y aboga por fundamentar el ejercicio docente como una acción sociopolítica que a través del diálogo “demanda del pensamiento crítico sea para el reconocimiento de la naturaleza dinámica del mundo o para la concientización de la realidad temporal susceptible de ser transformada” (p. 61).

La perspectiva epistemológica crítica y compleja, la sustentabilidad ambiental, la justicia ambiental, la alfabetización y el pensamiento crítico, constituyen los cinco elementos estructurales del abordaje de las CSCA

que propongo trabajar en la práctica docente de los profesores de ciencias y de los educadores ambientales, tanto en procesos de ejercicio profesional como de formación inicial. En la figura 6 se representa un esquema de elementos estructurales para orientar el desarrollo de diversas propuestas de enseñanza que el profesorado puede construir decidiendo hacia cuál o cuáles elementos prefiere enfatizar cuando propone estudiar controversias sociocientíficas y ambientales.



Figura 6. Elementos estructurales para el abordaje de las CSCA en la práctica docente

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, para el abordaje de las CSCA en la práctica docente se recomienda la conformación de colectivos de investigación entre profesores(as) o educadores(as) de diferentes áreas para construir una comprensión transdisciplinar. Este planteamiento se basa en la tesis del profesorado como investigador de su práctica que genera conocimientos propios para la construcción de su autonomía y el empoderamiento profesional (Martínez, 2024b).

En la medida en que el profesorado o los(as) educadores(as) superen la racionalidad técnica e instrumental que busca la implementación de propuestas de enseñanza, así como educativas elaboradas por especialistas, impuestas por currículos oficiales o privados, la enseñanza se torna un ejercicio crítico y ético que contribuye con la formación de los estudiantes desde una perspectiva dialógica que retoma sus saberes y experiencias culturales para reconocer sus riquezas y problematizar las limitaciones que puedan tener.

La investigación del profesorado es posible en el marco de una educación problematizadora y dialógica, que defiende la praxis como un proceso dialéctico que conjuga la reflexión con la acción de forma dinámica y permanente. Este proceso, considerado en Freire (2018) y Martínez y Suárez (2024a), compone un ejercicio teórico y metodológico para investigar los problemas concretos de la enseñanza articulado a demandas de los estudiantes y sus comunidades. Esta pretensión no es una promesa académica, más bien una posibilidad de trabajo docente que se puede alcanzar cuando colectivos de profesores(as) se comprometen y se esfuerzan por transformar su enseñanza como se ha evidenciado en varias investigaciones.

En Martínez *et al.* (2015) se compilan cinco experiencias de profesores(as) de diferentes instituciones educativas de Bogotá que conformaron colectivos de diferentes áreas para trabajar las CSCA en sus prácticas, la cuales ejemplifican aportes, posibilidades y dificultades de este trabajo para orientar otras prácticas docentes.

La primera experiencia docente basada en un ejercicio de investigación-acción (Achury *et al.*, 2015) logra articular profesores de biología, sociales, química, física, ética, español y artes para incorporar las CSCA en el currículo escolar. Para tal propósito iniciaron por caracterizar percepciones de los estudiantes sobre el territorio y temáticas de su interés, lo cual fue

explorado en tres ciclos de formación: el ciclo III que abarca profesores(as) de primaria y los ciclos IV y V de educación básica secundaria.

En el ciclo III se identificaron intereses sobre medio ambiente, tecnologías de la información y deportes; mientras que en el ciclo IV se destacaron los temas de género, cuerpo, familia, topofobias y topofilias; por su parte, en el ciclo V sobresalieron temas de violencia, cuidado del cuerpo y orientación vocacional. A cada una de estas preocupaciones se asoció una posible controversia: prohibición de fábricas de ladrillo, estereotipos sobre el cuerpo y prohibición o legalización de consumo de sustancias psicoactivas.

Por su parte, Escobar *et al.* (2015) articulan transversalmente al currículo de ciencias la CSCA sobre la privatización y contaminación del agua, así como la explotación de recursos minerales en el ámbito local. Para esto llevaron a cabo un trabajo interdisciplinario en favor de potencializar la autonomía de los docentes. La experiencia, en primer lugar, caracteriza la comunidad en la cual se desarrolla la labor como punto relevante para la estructuración de secuencias de enseñanza basadas en relaciones entre naturaleza, cultura, política, economía y sociedad para sustentar el estudio de la dimensión ambiental de la controversia. Por último, los autores concluyen que el abordaje de las CSCA propicia la transformación de las clases de ciencias naturales en un laboratorio de enseñanza que vincula a los estudiantes como sujetos activos frente a problemáticas de su entorno.

Rodríguez y Martínez (2015) estructuraron la controversia sobre la legalización versus la prohibición de sustancias psicoactivas con un grupo de profesores(as) dedicados(as) a la formación de jóvenes y adultos. Basados en la teoría crítica y en un permanente diálogo entre referentes teóricos y metodológicos trabajados en procesos formativos de profesores de ciencias y las propias experiencias del profesorado participante, se lograron potencializar experiencias docentes en las que se desmitificaron los tabús y miedos existentes frente al trabajo de estas problemáticas que hacen parte

de la propia vida de los estudiantes. La pregunta: ¿las sustancias psicoactivas se combaten o debaten en la escuela? da cuenta de la controversia en la propia vida de los estudiantes y favorece un diálogo interdisciplinario que posibilitó el establecimiento de estrategias de mitigación de consumo.

Carrión y Parga (2015) presentan la sistematización de una experiencia de articulación curricular de las CSCA en secuencias de enseñanza elaboradas por profesoras de educación básica primaria, las cuales tratan controversias sobre problemáticas ambientales asociadas a sequías en Casanare-Colombia, catástrofes naturales hipotéticas producidas por la contaminación humana y aplicación de la vacuna contra el virus del papiloma humano en niñas. Las autoras concluyen que, si bien no es posible solucionar las problemáticas locales-globales que los(as) estudiantes y docentes trabajaron, sí se generan posturas claras y argumentadas que hacen parte de la formación ciudadana indispensable para la participación social.

La quinta experiencia que evidencia la investigación colectiva del profesorado al abordar las CSCA, se estructura sobre cómo contribuir con la solución de algunas problemáticas ambientales del río Tietê en el interior del estado de São Paulo, en Brasil, y que están asociadas a procesos de contaminación y de apropiación social (Lenharo *et al.*, 2015). Los autores concluyen que el abordaje colectivo de las CSCA basado en procesos colaborativos y comunicativos posibilita la conquista de la autonomía docente, a través de la articulación entre enseñanza e investigación.

En De Carvalho *et al.* (2019) se presentan otras experiencias significativas de abordaje de las CSCA en colectivos de profesores(as) brasileños que, orientados por la investigación escolar y la teoría de acción comunicativa, estructuran un modelo formativo a través del cual es posible comprender la ciencia como cultura y construcción humana, que puede interrogarse para una mejor comprensión de los vínculos que pueden establecerse entre sociedad y ambiente.

Tanto en el trabajo expuesto por Martínez *et al.* (2015) como en el realizado por De Carvalho *et al.* (2019) se destaca la importancia de la teoría crítica para orientar el abordaje de las CSCA y hacen alusión a la investigación como principio central de la práctica docente y fundamento de la construcción de la autonomía del profesorado. Además, enmarcan el desarrollo de las experiencias docentes en programas de formación de profesores(as), en lo que existe una interacción y colaboración permanente entre el profesorado de las universidades y el profesorado de las instituciones educativas. Ahora bien, existen grandes dificultades para trabajar las CSCA en la práctica del profesor basadas en la investigación. La imposición de currículos preestablecidos constituye una importante barrera, así como la falta de formación del profesorado en aspectos teóricos y metodológicos sobre la enseñanza de controversias y la complejidad del abordaje en la práctica establecen problemáticas desafiantes.

Zapata (2014) particulariza las dificultades asociadas a la práctica docente, en tal sentido alude al predominio del trabajo docente individualista, la falta de tiempo y recursos, la ausencia de confianza entre colegas, miedo a la crítica, problemas en la comunicación, falta de motivación y actitudes negativas hacia la investigación. Las dificultades citadas son un desafío para el profesorado y un impulso para la investigación didáctica, en términos de continuar indagando sobre la construcción de procesos colectivos que redunden en mejorar la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental, a partir del abordaje de las CSCA. Lo cierto es que la formación y, sobre todo, el desarrollo de acciones sociopolíticas en favor de posicionar la sustentabilidad como la alternativa a la crisis ambiental que padecemos representan una respuesta educativa concreta para aportar a repensar los límites planetarios que continúa rebasando nuestra sociedad.

A pesar de la importancia que reviste el trabajo colectivo del profesorado para emprender investigaciones sobre el mejoramiento de la práctica docente, a partir del abordaje de las CSCA, la revisión bibliográfica expuesta en el tercer capítulo de este libro evidenció que entre 2019 y 2024

de los doce trabajos existentes sobre la práctica docente de profesores en ejercicio, solo tres rescatan y desarrollan el trabajo colectivo basado en la investigación y posibilitan interacciones significativas entre profesores(as) de la universidad y del ámbito escolar (Rozo *et al.*, 2020; Sauerbier *et al.*, 2021; De Carvalho *et al.*, 2021).

La ausencia de trabajos de investigación aumenta cuando es de índole colectiva, no solo entre profesores de distintos niveles educativos, sino cuando estos interactúan con comunidades en sus territorios. Al respecto, fueron hallados dos textos: el primero de ellos trata de un conflicto socioambiental generado por la instalación de un complejo industrial de varias empresas de Francia y Japón en un municipio brasileño (Brito y Araujo, 2020); el segundo, investiga la formación docente decolonial, a partir del diálogo de saberes entre grupos académicos y organizaciones comunitarias en Argentina (Iribarren *et al.*, 2022).

A partir de las anteriores consideraciones se propone el esquema de la figura 7 para que el profesorado y educadores(as) consideren dentro del proceso de abordaje de las CSCA en su práctica, la importancia de la estructuración de colectivos de investigación en la escuela para la participación o, por lo menos, el análisis de acciones sociopolíticas de ellos y sus estudiantes alrededor de las controversias sociocientíficas y ambientales existentes en los contextos sociales en los que actúan, para buscar el mejoramiento políticas y acciones orientadas a la sustentabilidad ambiental.



Figura 7. Representación de elementos estructurales para la práctica docente investigativa en el abordaje de las CSCA

Fuente: elaboración propia.

Aspectos metodológicos para el abordaje de las CSCA

Con base en las investigaciones que hemos desarrollado en el grupo de Alternancias sobre el abordaje de las CSCA en la práctica docente (Martínez, 2012; Martínez y Parga, 2013; Martínez *et al.*, 2015; Martínez, 2022; Martínez y Suárez, 2024b) propongo un esquema metodológico, como una bitácora o un ideario de viaje para sumergirse en la aventura intelectual de enseñar estas cuestiones controvertidas que articulan aportes de la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental. La bitácora de viaje no constituye un método rígido de pasos a seguir ni mucho menos una receta de ingredientes y pasos para enseñar, sino una invitación académica para que profesores(as) en ejercicio y en formación inicial, así como educadores(as) construyan diversas propuestas de enseñanza orientadas a la formación ciudadana crítica para la participación social frente a las CSCA.

En la figura 8 se representan tres dimensiones didácticas: problematización de controversias, transdisciplinariedad de las controversias y acciones sociopolíticas sobre controversias, para abordar las CSCA en la práctica docente, las cuales no son momentos lineales para seguir, sino

entradas que el maestro puede considerar críticamente cuando decida enseñar controversias en el aula. Las dimensiones aportan a la planeación del(a) profesor(a) o educador(a) para que luego decida qué rumbo escoger y estructure sistemáticamente su ejercicio docente a través de un proceso permanente de acción-reflexión y reflexión-acción, que sustenta el desarrollo de acciones sociopolíticas responsables y comprometidas con la sustentabilidad ambiental (Martínez, 2024a; Martínez y Suárez, 2024a; Rendón y Martínez, 2016 y Martínez *et al.*, 2007). En la figura 8 se identifica con flechas sencillas la entrada (E) que puede tener el(la) profesor(a) o educador(a) de acuerdo a su propio criterio, es decir, que puede comenzar analizando acciones sociopolíticas consolidadas en prácticas comunitarias para iniciar un estudio sobre las CSCA involucradas o puede comenzar realizando un análisis transdisciplinar de las controversias por medio de la identificación de las relaciones de poder involucradas en las controversias consideradas en el campo científico y en su interacción con otros conocimientos y saberes asociados a la justicia ambiental o los límites planetarios. También podría iniciar identificando y problematizando controversias, caracterizando intereses y disputas de los actores participantes o realizando análisis crítico de noticias y reportajes. Una vez se realiza la entrada se establecen relaciones internas en la dimensión (RI) que posibilitan profundizar y luego se amplía el análisis para establecer relaciones entre las distintas dimensiones (RE) hasta alcanzar un abordaje global y holístico.

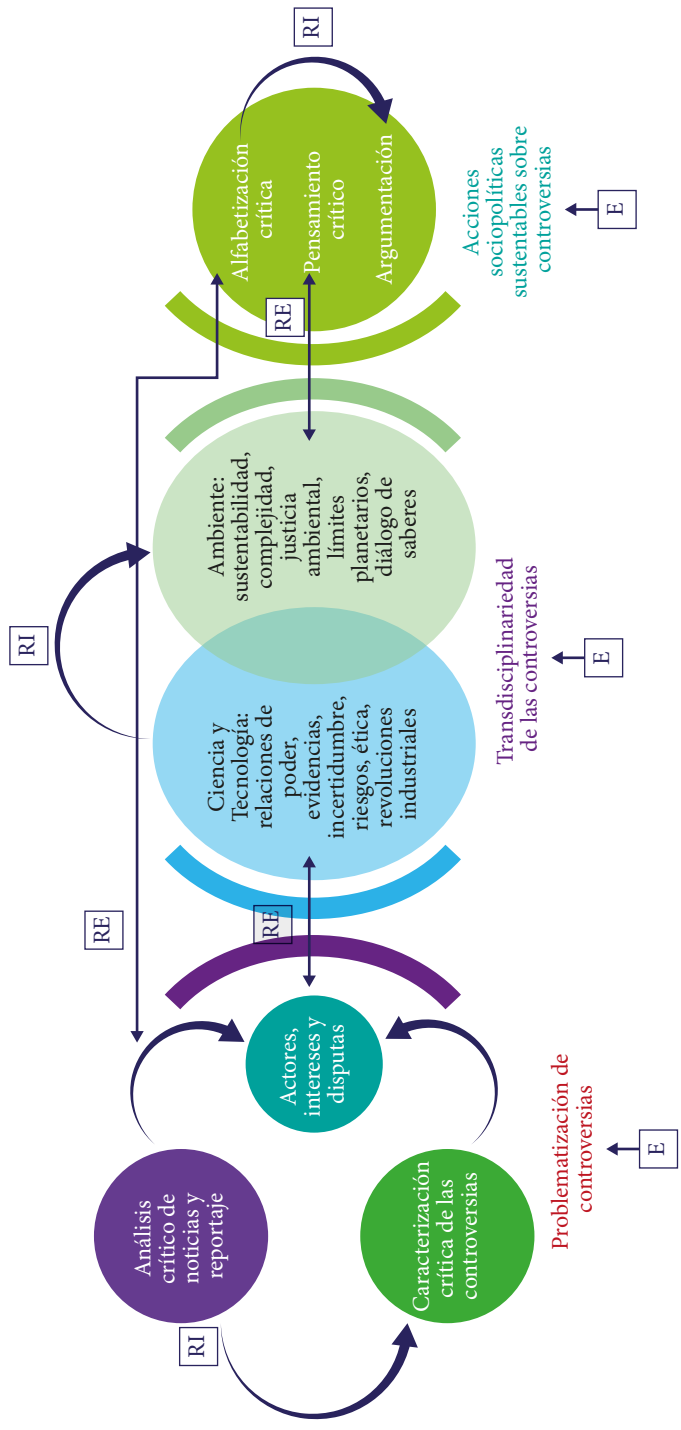


Figura 8. Representación de dimensiones didácticas para abordar las CSCA

Fuente: elaboración propia.

A manera de ejemplo, en seguida se analiza la crisis climática como CSCA para conceptualizar las tres dimensiones y ofrecer un desarrollo metodológico particular que, de acuerdo con mi propio interés y trayectoria académica, define la entrada en la dimensión de problematización de controversias. Sin embargo, cada profesor(a) o educador(a) puede libremente proponer la entrada que considere pertinente, lo importante es que sea un ejercicio didáctico sistemático y fundamentado.

Crisis climática como CSCA

Prefiero referirme a crisis climática en lugar de cambio climático, para dejar más claro que es un problema estructural de la sociedad occidental, que optó desde la Revolución Industrial por la construcción de un modelo de desarrollo económico capitalista basado en el extractivismo de la naturaleza para satisfacer las grandes demandas energéticas del crecimiento de las ciudades, así como la producción de gran cantidad de mercancías que se consumen sin límites y cuya generación depende de materias primas obtenidas de la naturaleza, a la vez que contribuyen con la creciente contaminación del planeta. El término *cambio climático* se puede restringir más al fenómeno que ocurre cuando la temperatura media global del planeta se incrementa por el aumento de gases efecto invernadero producidos tanto por fenómenos naturales (por ejemplo, erupciones volcánicas) como por actividades antrópicas (por ejemplo, la quema de hidrocarburos fósiles).

Problematización de la crisis climática

Para abordar la crisis climática como CSCA se puede iniciar con la identificación de la controversia o controversias que serán objeto de trabajo, para esto se caracterizan los puntos de vista de los agentes involucrados que no tienen un acuerdo inicial y que están en disputa. Por *agente social* se entiende a los sujetos que actúan de acuerdo con una posición social y un *habitus* (Bourdieu, 1990). El agente reproduce unas prácticas en

el campo social de acuerdo con la posición que ocupa según su capital económico, social y cultural, mientras que el actor puede entenderse como un sujeto que actúa con cierta autonomía del campo social y se identifica por las acciones que decide realizar. La concepción de agente sustentada en la obra de Bourdieu está fundamentada en una perspectiva estructuralista constructiva basada en aportes de Claude Lévi-Strauss, que considera que en el mundo social operan estructuras objetivas independientes de la conciencia y de la voluntad de los agentes. Esto significa que en el campo social se presentan relaciones de poder que determinan o influyen significativamente posiciones y prácticas que desarrollan los agentes sociales en los diferentes contextos de actuación. El *habitus* corresponde al principio generador de las prácticas sociales que desarrollamos relativamente inconscientes, es decir, están asociados a la cultura y se dan con cierta naturalización. Constituye las prácticas sociales que se reproducen en la estructura social y abarca contenidos para la acción y posiciones que los agentes ocupan.

Definimos los sujetos participantes en las controversias como *agentes actuantes*, que correspondería a un término más apropiado para hablar de actores en el sentido de la propuesta teórica de Bourdieu. Esto es aclarado por Fernández (2003) al analizar el concepto de agente, que conjuga la idea de sujetos que desarrollan sus prácticas por el *habitus* que configura sus acciones en la estructura social que puede ser inconsciente o consciente cuando se busca subvertir las relaciones de dominación y no simplemente para reproducirlas.

El concepto de agente actuante es pertinente para caracterizar los actores involucrados en las CSCA porque da cuenta de posiciones y puntos de vista en conflicto de acuerdo con las posiciones sociales que ocupan estas conscientes e inconscientes. Sobre todo, visibiliza relaciones de poder por la disputa establecida frente a quién tiene la autoridad o legitimidad que se impone como dominante en la controversia. Usaré el término *actores sociales* según la comprensión de agente actuante. Ahora

bien, en la controversia se debe buscar una posible resolución, así sea temporal, para lo cual se apela a principios éticos que contribuyan con prácticas democráticas basadas en la sustentabilidad y justicia ambiental.

De acuerdo con lo anterior, en primera instancia se propone que los(as) profesores(as) y educadores(as) caractericen los agentes actuantes involucrados en la controversia analizando los puntos de vista, intereses y posiciones sociales para visibilizar las relaciones de poder que se establecen con la perspectiva de reconstruirlas en términos éticos y democráticos. El análisis de las relaciones de poder demanda articular conocimientos científicos y ambientales adyacentes a la controversia, los cuales están sujetos a la incertidumbre y a la complejidad que demanda la articulación con conocimientos humanísticos y ambientales para dar cuenta de una comprensión holística de la discusión. Este proceso puede fundamentarse en la alfabetización o fomento del pensamiento crítico.

En primera instancia, podemos preguntarnos si existe o no el cambio climático para, luego, pensar que estamos en crisis. Aunque la respuesta parezca obvia, no siempre ha sido así y hace parte de una gran controversia sociocientífica y ambiental. Los actores centrales del debate se pueden caracterizar, por un lado, cómo los científicos que han investigado el problema, los gobiernos que políticamente han respondido frente a dichas investigaciones, los medios de comunicación que crean una determinada opinión pública, los(as) ciudadanos(as) que ocupan distintas posiciones —algunas inconscientes otras conscientes— y la naturaleza. En cuanto a los(as) científicos(as), por otro lado, se evidencia una disputa frente a la autoridad para definir si existe o no el cambio climático por causa de la actividad antrópica.

La discusión inicia paradójicamente en la década de 1970, cuando algunos científicos estaban preocupados por el enfriamiento global y no por el calentamiento; en ese momento se creía que el descenso de temperatura podría desencadenar una nueva edad de hielo (Compagnucci, 2011).

Sin embargo, a finales de esta misma década y en las siguientes, las temperaturas medias del planeta comenzaron a subir y esto reorientó la investigación científica hacia el análisis del efecto invernadero, un fenómeno natural que posibilita la vida en el planeta, ya que gracias a la composición química de la atmósfera es posible retener una parte de la radiación solar y otra es reflejada hacia el espacio, manteniendo un equilibrio importante para que la temperatura media de la tierra sea aproximadamente de 15 °C.

Según Zecchini (2005) si solo tuviéramos en cuenta la distancia del sol a la Tierra sin considerar la atmósfera terrestre, las temperaturas globales serían muy bajas, alrededor de -18 °C. Gracias a la composición química de la atmósfera terrestre y, especialmente, a la concentración de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y otros gases efecto invernadero, es posible retener alrededor del 18 % de la radiación solar incidente, el 50 % restante es retenida por la superficie terrestre, incluyendo los mares. Aunque el CO₂ y el CH₄ se encuentran en un porcentaje muy bajo en la atmósfera, por debajo del 1 %, cumplen un papel esencial para mantener estable la temperatura global del planeta.

Debido al aumento de las temperaturas globales se realizaron investigaciones en la década de 1980, especialmente en los Estados Unidos y en Inglaterra para entender lo que estaba ocurriendo con el clima, hasta el punto de ser una preocupación política de orden planetario que fue atendida por el Programa de las Naciones Unidas (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que impulsaron la creación de un panel internacional de expertos dedicados a evaluar la evidencia científica existente frente al tema. Así, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) creó The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), que publicó su primer informe en 1990.

El primer informe del IPCC daba cuenta de los análisis, conclusiones y recomendaciones de tres grupos de trabajo, el primero de ellos centraba la atención en la evaluación científica del cambio climático, el segundo

se refería a los impactos potenciales de este cambio y el tercero proponía estrategias de respuesta a dichos impactos, de esta forma se constituía información valiosa para los gobiernos de todo el mundo en términos de tomar decisiones efectivas.

Se alertaba con seguridad que el incremento de actividades humanas podría aumentar la emisión de gases efecto invernadero, especialmente CO₂, que se venían produciendo desde el pasado, provocando un aumento de la temperatura global del planeta por efectos antrópicos y no solo naturales, lo que impactaría en el clima mundial debido, entre otros aspectos, al aumento del nivel del mar, también esto desencadenaría impactos importantes en los ecosistemas del planeta. Todo esto generaría consecuencias importantes en la sociedad (The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 1992).

El primer informe del IPCC presentó datos del aumento de la concentración de gases efecto invernadero comparando valores de la época preindustrial (1750-1800) y los registros existentes para 1990. De tal manera, se puso en evidencia un aumento del 0,5 % de la concentración de CO₂; 0,9 %, de CH₄; 4 % clorofluorocarbonados (CFC-11); 4 % CFC-12 y 0,25 % óxido nitroso (N₂O). Además, señaló que estos gases podrían persistir por mucho tiempo, en el caso del CO₂, 50 a 200 años; CH₄, 10 años; CFC-11, 65 años; CFC-12, 130 años y N₂O, 150 años. Estos reportes dejaron claro que, incluso reduciendo a la mitad todas las emisiones humanas de CO₂, hasta el año 2100 seguiría estando presente la mitad del aumento de la concentración de este gas, aproximadamente.

El aumento de los gases de efecto invernadero por causa antrópica podría asociarse con un buen grado de seguridad al aumento de la temperatura media global que había aumentado en el último siglo entre 0,3 °C y 0,6 °C; sin embargo, esto no ha sido constante y han existido diferentes tasas de calentamiento cuando se analiza las temperaturas medias mundiales del periodo 1951 a 1980 en comparación con los registros existentes entre

1861 y 1989. El IPCC señala que buena parte del calentamiento registrado desde 1900 se concentró entre 1910 y 1940 y, desde 1975, hacía alusión a que los cinco años más cálidos se registraron en la década de 1980; ahora bien, el hemisferio norte se enfrió entre los años 1940 y unos años después de 1970.

Estos análisis resultaron consistentes con las bajas temperaturas registradas a comienzos de 1970 en los EUA, que desencadenaron alarma y preocupación en la población especialmente por los efectos mediáticos comentados por Compagnucci (2011) que hacían alusión, en primer lugar, a la publicación de *Science News* en 1975 en la que representaba el fenómeno mostrando a Nueva York sepultado por una gran masa de nieve. Por su parte, en 1977 el *New York Times* simuló un pingüino sobre montañas de hielo en la portada, en una nota sobre “cómo sobrevivir a la Edad de Hielo que viene” y proponía “51 cosas que usted puede hacer para marcar la diferencia”.

Con base en el consenso científico sobre la segura existencia del efecto invernadero por causas naturales, el IPCC evidenciaba con los datos existentes del aumento de gases efecto invernadero que la temperatura media aumentaría; no obstante, señalaba la dificultad para establecer en qué grado se había realizado dicho aumento y, aún más complejo, predecir cómo continuaría incrementándose. Igualmente, señalaba que otras actividades humanas, como la desertificación producida por la deforestación, también contribuiría con que la superficie terrestre estuviera más caliente, es decir que el 50 % de la radiación incidente del sol que es absorbida por la superficie terrestre podría aumentar. Los aerosoles que son emitidos por el ser humano, el azufre producido en la ignición de combustibles fósiles y la emisión de CFC también influyen en la alteración del clima. Es decir que estaríamos enfrentando un problema complejo asociado a múltiples actividades humanas que impactan el clima y no solo se debe esto a la emisión de gases efecto invernadero.

Con la intención de prever la posible variabilidad climática debido a las actividades humanas, el primer informe del IPCC estableció que los mejores instrumentos para ello consistían en “modelos matemáticos tridimensionales del sistema climático (atmósfera-océanos-hielos-tierras) conocidos como Modelos de Circulación General (GCM)” (IPCC, 1992, p. 81), los cuales sintetizan los conocimientos científicos existentes sobre los procesos físicos y dinámicos del sistema mundial. Empero, para la época existían importantes limitaciones de estas medidas asociadas aún a poco desarrollo tecnológico, por lo tanto, el propio IPCC admitía el alto grado de incertidumbre que guardaban las predicciones del clima.

El primer informe del IPCC en cierto grado se basa en estudios científicos que aún guardaban un importante grado de incertidumbre; a pesar de ello, el capital simbólico del informe no solo se revestía de un cierto grado de autoridad científica que se empezaba a tornar dominante, sino que comenzaba a estructurar un gran capital social que le daba la legitimidad, requerido para tornarse como una perspectiva dominante en el campo social. Esto se debía al apoyo internacional que recibía por parte de la ONU, que, desde el final de la Segunda Guerra Mundial, se puede decir constituye la instancia mundial que orienta en gran medida la construcción de políticas internacionales para la mayoría de los gobiernos del mundo.

A pesar de que la voz del IPCC como un actor social clave para entender la CSCA del cambio climático avanzaba en consolidar un fuerte posicionamiento social investido de autoridad científica, algunos investigadores comenzaron a presentar diferencias significativas frente a la evidencia existente que demostraba que las actividades humanas serían responsables del aumento de temperatura global. La controversia tuvo su máxima expresividad a finales de la década 1990 e inicio del siglo XXI, y fue conocida como *la controversia del palo de hockey*.

La discusión se desencadenó cuando Soon y Baliunas (2003) cuestionaron los datos consolidados en 1998 por Mann *et al.* (1998), quienes

realizaron una reconstrucción cuantitativa de la temperatura que se remontaba hasta 1400, evidenciando que existía un incremento significativo de la temperatura desde 1900, debido a que la gráfica presentaba una tendencia relativamente plana desde 1400 hasta 1900, y luego experimentaba un incremento significativo, se asoció su comportamiento a la forma de un palo de hockey, motivo del nombre de la discordia.

Willie Soon y Sallie Baliunas del *Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian* de los Estados Unidos no estaban de acuerdo con los datos de Michael Mann, Raymond Bradley y Malcolm Hughes porque los cambios históricos de la temperatura estaban relacionados con la variación solar, en lugar de las emisiones de gases efecto invernadero. La controversia inicialmente parecía limitarse al terreno científico, pero las críticas de Willie Soon y su equipo adquirieron un capital social importante y entraron a hacer parte de la disputa por quién tiene la razón para determinar la política ambiental internacional.

El desacuerdo fue planteado en términos de qué rumbo tomar frente al crecimiento económico dependiente del consumo de hidrocarburos fósiles, especialmente petróleo porque estos investigadores recibieron el apoyo de la voz política dominante de la época, representada por el gobierno de George W. Bush, quien retomó el trabajo de Soon y su equipo para sustentar el Informe sobre el Medio Ambiente de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Además, críticas como estas ayudaban a continuar con la política extractivista de petróleo de los Estados Unidos, claramente responsable del desarrollo industrial del siglo XX. Es importante recordar que los EUA no firmaron el protocolo de Kyoto de 1997, aunque lo suscribieron un año después, el propio presidente Bush en 2001 se opuso a su implementación porque perjudicaría la economía de este país, y aseguró que era necesario impulsar una nueva era pos-Kyoto (*El Mundo*, 2005).

Otros trabajos realizados por autores canadienses (McIntyre y McKi-trick, 2005) también criticaron los métodos estadísticos usados por el

equipo de Mann y el grupo interdisciplinario de científicos alemanes, ingleses y españoles liderados por Hans von Storch realizarían una crítica más contundente sobre estos (Storch *et al.*, 2004). La disputa por la autoridad científica en el campo científico era clara. Aquellos que defendían el cambio climático por efectos antrópicos y aquellos que aún no lo aceptaban; sin embargo, lo más interesante e impactante fue cómo se capitalizó la disputa en el terreno social y en materia de política ambiental internacional para efectos de adoptar planes de gobiernos orientados a tomar medidas contundentes para disminuir la emisión de gases efecto invernadero.

En el campo científico, y por el prestigio sociopolítico que empezaba a construir el trabajo pionero del equipo de Mann, recibiría gran apoyo desde Estados Unidos, cuando la balanza política se comenzó a equilibrar, pues en la contienda electoral de este país en el año 2000 entró Albert Arnold Gore y George W. Bush. El primero de ellos tendría dentro de su apuesta política la lucha contra el cambio climático, mientras que el segundo privilegiaba la defensa de los intereses económicos de los EUA como un eje relevante en la explotación petrolera. Aunque Gore no fue elegido presidente, obtuvo el mayor apoyo en el voto popular y desde este momento emprendió una lucha ambientalista importante que se plasmó, entre otras cosas, en el documental que ayudó a producir conocido como: *Una verdad incómoda*, que se estrenó en 2006, en el cual el político describía los serios problemas ambientales del cambio climático, la destrucción de la capa de ozono y la extinción de especies, todo esto lo haría merecedor el premio Nobel de la Paz en el 2007. Gore se convirtió en un crítico importante de la administración Bush, cuestionando la invasión de Irak, justificada por el ataque a las torres gemelas del 11 de septiembre del 2001.

El posicionamiento político ocupado por actores como el panel IPCC, ambientalistas y políticos, como Gore, que sustentaban la necesidad urgente de tomar medidas contundentes en el orden planetario para disminuir la emisión de gases efecto invernadero, inclinó de alguna forma

las relaciones de poder a favor de la evidencia científica existente liderada por los estudios del equipo de Mann, el cual recibió apoyo por un grupo de científicos que fue organizado por requerimiento del Congreso de los Estados Unidos en 2006. Posteriormente, se publicaron varios trabajos que emplearon diferentes métodos estadísticos que apoyaban la evidencia científica basada en el trabajo del equipo de Mann, y que era el soporte de los informes que continuaría produciendo el IPCC, cuyo tercer informe, publicado en el 2001, contó como autor principal del capítulo sobre variabilidad climática con el propio Lawrence N. Mann. En este informe, el trabajo de este autor publicado en 1998, y luego ampliado en 1999, para dar cuenta del incremento de la temperatura desde el año 1000 fue piedra angular del trabajo que realiza este panel de expertos para ofrecer información verídica para orientar la toma de decisiones de los distintos gobiernos del mundo en materia ambiental.

La controversia sobre el cambio climático en términos del campo científico es compleja y, como se ha discutido anteriormente, gira alrededor de los métodos estadísticos para reconstruir las temperaturas medias del planeta en los últimos mil años y, para de esta forma, demostrar si el siglo XX es el periodo más cálido que se haya registrado. Asimismo, los cuestionamientos giran alrededor de los estudios pioneros del equipo liderado por Mann, que fundamenta sus estudios en los datos *proxies*⁴ obtenidos a partir del estudio de anillos de árboles del hemisferio norte, pues estos podrían ser válidos para dar cuenta del calentamiento en el orden global y no solo de esta región del mundo. Hasta la actualidad se aceptan las conclusiones consolidadas en estos estudios, porque los errores que puedan existir en las mediciones son pequeños, y no afectan significativamente los resultados finales. Es cierto que existe un grado de incertidumbre importante en el establecimiento de los escenarios futuros previstos en los informes del IPCC y, por esa razón, se habla de

4 Se refiere a un registro natural que conserva características biofísicas del pasado y que permite medir condiciones meteorológicas para reconstruir condiciones climáticas en la historia no escrita.

posibilidades de escenarios usando el lenguaje de ocurrencia como casi seguro, muy probable, probable, improbable y muy improbable.

La disputa en el campo científico está claramente inclinada a favor de los defensores del cambio climático debido a la actividad antrópica; aun así, la CSCA es mucho más amplia y se extiende al terreno social, económico y político, todo ello centrado en la problemática ambiental. En este sentido, aunque los seis informes integrales del IPCC, el último de ellos publicado entre el 2021 y el 2023 constituyan una clara muestra del establecimiento de un importante consenso científico alrededor del tema, la controversia sobre la crisis climática continúa y abarca varias esferas políticas y económicas ancoradas a la compleja problemática ambiental.

En seguida, se profundiza en la controversia a partir de un análisis transdisciplinario que contribuye con una mejor comprensión de las CSCA, para finalmente proponer el diálogo de saberes como elemento estructural de la acción sociopolítica como posibilidad de retomar la esperanza para pensar en otro futuro posible.

Transdisciplinariedad de la crisis climática

La crisis climática que enfrentamos como humanidad tiene sus bases en una profunda crisis de la civilización occidental que se arrogó el derecho de universalizar su pensamiento en el orden planetario, desconociendo que existían otras culturas humanas que albergaban una tradición mucho más amplia. Nos referimos a las culturas orientales, africanas, árabes y amerindias que suelen englobarse en la concepción eurocéntrica del mundo en el estudio de la historia de la edad antigua, la edad media y la modernidad, tal como ha sido estudiado y cuestionado ampliamente por Dussel (2012) y que, en realidad, son grandes culturas que tienen su propio desenlace histórico.

Comparto el punto de vista de Maldonado (2024), que caracteriza la civilización occidental como un relato histórico de una cierta cultura de

la humanidad, el cual comienza en la Grecia antigua, comprende toda su evolución hasta la construcción de la noción de democracia y que luego se constituye como un proceso de hibridación de esta herencia griega con Roma y Jerusalén, así se constituye un legado que conformará el pensamiento europeo que pretende hasta ahora constituirse como el pensamiento universal y hegemónico.

En el seno de la civilización occidental, es decir, de lo que conocemos como Europa, emergió la sociedad capitalista con gran expresividad a finales del siglo XVIII, instalando en el orden jurídico la propiedad privada de los medios de producción y el libre ejercicio económico. Este nuevo modelo económico y político se entrelazó muy bien con la primera Revolución Industrial, que organizó el trabajo en función de la producción de manufacturas de tipo artesanal, luego daría paso a la producción en serie o a grande escala impulsada por la creación de la máquina de vapor-carbón y de otras invenciones tecnológicas desde 1830. Los avances científicos y tecnológicos de los siglos XVIII y XIX, destacando la invención de la máquina de vapor, liderada por James Watt; las aplicaciones de esta a la creación del transporte ferroviario, por parte de Nicolas-Joseph Cugnot, Richard Trevithick, George Stephenson, entre otros, entraron en práctica para la fabricación de buques a vapor que comenzaron a cruzar el océano; lo que dio paso a varias industrias, entre ellas la metalúrgica y la militar, revolucionando el transporte de pasajeros y cargas.

La revolución burguesa, que prometía en su ideario político libertad y justicia, rápidamente encorazada con el capitalismo industrial generó explotación económica y política. La naciente clase obrera conformada por mujeres, varones y niños(as) quedó sometida a la industrialización, sintiendo un cambio importante en la intensidad de explotación que contrastaba con la cultura de libertad que habían experimentado el inicio, esto devino en la aparición del movimiento obrero en el siglo XIX (Esper *et al.*, 2024).

La promesa de igualdad, libertad y bienestar que tenía la sociedad capitalista se desvanecía rápidamente con procesos de deshumanización, para dar paso al crecimiento económico basado en la producción. Además, se activó un proceso extractivista de la naturaleza e inició la producción de gases de efecto invernadero con gran intensidad, precisamente el punto de referencia de buena parte de los informes del IPCC para dar cuenta del aumento progresivo de estos gases es 1850, momento del auge de la primera Revolución Industrial empotrada en el capitalismo.

El informe del IPCC publicado en 2023 reafirmó lo planteado en los precedentes con relación al aumento acelerado de gases efecto invernadero desde 1850 —cuando se empezó a sentir el impacto ambiental de la segunda Revolución Industrial— hasta 2019, que corresponde a la época de vivimos, caracterizada por el capitalismo exacerbado nutrido hoy de los avances informáticos, la automatización, los sistemas ciberfísicos que hacen parte de lo que algunos conocen como tercera y cuarta Revolución Industrial (González-Hernández *et al.*, 2021).

El Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2023) expone que la mayor emisión de CO₂ es debido a la quema de combustibles fósiles y a la industria, seguido del uso del suelo y los cambios que este implica, así como el manejo de la silvicultura. También reporta el aumento de los otros gases invernadero, como CH₄, y N₂O, gases fluorados (HFC, PFC, SF₆, NF₃) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023, p. 43).

El progresivo crecimiento de gases efecto invernadero se puede asociar al aumento de la temperatura media global y, en este sentido, el IPCC (2023) plantea que la mejor estimación hecha hasta el momento de esta variación da cuenta que la temperatura superficial global ha aumentado 1,1 °C entre 2011 y 2020 en comparación con el periodo 1850-1900; esto producto de la actividad antrópica.

El desarrollo histórico de la sociedad capitalista experimenta permanentes crisis que no solo se caracterizan desde un punto de vista económico, como

las que se presentaron en 1929, 1973, 1993 y 2009, sino que son generadoras de desequilibrios, rupturas o peligros caracterizados por Rodríguez (1997) como ecológico, antropológico e internacional. El primer peligro ecológico o, mejor, ambiental, que es preocupación central de la crisis climática, se caracteriza porque el crecimiento económico basado en la explotación de la naturaleza rebaza los límites o capacidad de ella. El segundo peligro consiste en la subordinación del mundo de la vida del ser humano orientado por el lenguaje y la comunicación a las esferas técnicas e instrumentales del capital generando alineación. El tercer peligro también se asocia a la esfera económica y política, al rebasar los principios del bienestar social para dar paso al aumento de las ganancias privadas (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023, p. 43).

Las primeras críticas al peligro ambiental que encierra el ilimitado crecimiento económico fue elaborado sistemáticamente por el conocido Club de Roma, que consistió en un informe alarmante sobre los límites que se estaban ultrapasando en términos del crecimiento poblacional, el agotamiento de recursos naturales, la contaminación y el consumo desenfrenado, especialmente, de los países industrializados. Todo esto sobrepasa la capacidad del planeta llevándolo a un significativo deterioro (Meadows *et al.*, 1972).

No es posible mantener los patrones de consumo actuales tanto materiales como energéticos con los bienes de la naturaleza, como lo han sustentado Rockström *et al.* (2009) y Persson *et al.* (2022), al señalar que cada vez se ultrapasaban nueve límites naturales que dejan en evidencia la insostenibilidad del modelo de desarrollo capitalista. Rockström *et al.* (2009) sostienen que el desarrollo de la actividad antrópica agenciado especialmente desde la Revolución Industrial ha crecido desenfrenadamente explotando combustibles fósiles, impulsando la industrialización de la agricultura y generando nuevas entidades químicas hasta el punto de alcanzar niveles que podrían dañar los sistemas que mantienen a la Tierra en un estado de equilibrio climático global que caracteriza la era geológica

del Holoceno. Sobrepasar este límite planetario genera daños irreversibles y abruptos que ponen en peligro todas las formas de vida.

Los *límites planetarios* se refieren al espacio operativo seguro en el que las actividades antrópicas pueden continuar sin transgredir los subsistemas y procesos biofísicos del planeta. Los nueve límites planetarios están comprendidos por: cambio climático, tasa de pérdida de biodiversidad, interferencia con los ciclos del nitrógeno y el fósforo, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación de los océanos, uso global de agua dulce, cambio en el uso de la tierra, contaminación química y carga atmosférica de aerosoles (Rockström *et al.*, 2009).

El gran error de la agenda 2030 y los consecuentes objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) consiste en no abordar el problema estructural de los impactos ambientales del crecimiento económico capitalista, que está superando con creces los nueve límites planetarios descritos anteriormente y, a la luz de algunos autores como Leakey y Lewin (1997), estaríamos experimentando el inicio de la sexta extinción, en este caso, por la acción humana que cada año genera la desaparición de, por lo menos, trescientas especies.

Ante la superación de los límites planetarios por consecuencia del desbordado crecimiento capitalista, la respuesta no proviene de la propia crisis de la sociedad occidental, que también propuso el modelo económico y político socialista, igualmente basado en las ideas de progreso y desarrollo económico, que resultan extractivistas y antropocéntricas. En este sentido, no hay otra alternativa frente a la crisis climática que construir otro tipo de sociedad fundamentado en un nuevo pensamiento basado en el conocimiento sobre la naturaleza y la sustentabilidad ambiental.

Pensar de acuerdo con la naturaleza significa, como propone Maldonado (2024), pensar en términos de tiempos naturales y no en tiempos humanos, es decir que una nueva civilización será posible siempre y cuando respete el propio funcionamiento de la naturaleza. Respetar la

compleja dinámica de la atmósfera, la hidrosfera, la geosfera y biosfera que interactúan guardando sensibles equilibrios ecológicos. La comprensión amplia que se ha estructurado en términos de la problematización de la crisis climática como CSCA y el análisis transdisciplinar realizado demanda de acciones sociopolíticas sustentables para subvertir la hegemónica concepción antropocéntrica, para esto la alfabetización científica y ambiental crítica juega un papel importante.

Acciones sociopolíticas para enfrentar la crisis climática

En la primera parte de este capítulo se discutió el significado tradicional de la alfabetización científica y se sustentó la perspectiva crítica para la enseñanza de las ciencias, así como la educación ambiental desde un punto de vista latinoamericano para construir una nueva alternativa que contribuya a enfrentar la crisis ambiental.

Li y Guo (2021) realizaron un amplio análisis bibliométrico de literatura especializada en didáctica de las ciencias referida a la alfabetización científica entre 1980 y 2019, constatando que cerca del 70 % de las instituciones académicas que producen conocimiento sobre este tema hace parte de Norte América. Más allá, la mayoría de la producción corresponde al mundo occidental, en la que los autores más citados y reconocidos son Jonathan Osborne y Rosalind Driver, de Inglaterra, y Norman G. Lederman, de Estados Unidos. Luego de ubica Rodger Bybee, de Estados Unidos; Derek Hodson, de Canadá; Miller Jon D., de Estados Unidos; Robin Millar, de Inglaterra; y Rick Bonney, de Estados Unidos. La influencia de los autores más citados sobre la alfabetización científica es evidente en la producción académica de investigadores iberoamericanos como Marco-Stiefel (2000), Adúriz-Bravo (2005), Acevedo (2008), García-Carmona *et al.* (2012), por citar algunos de ellos que siguen los marcos conceptuales de los pensadores anglosajones.

En este orden de ideas, el concepto de *alfabetización científica* visto desde la perspectiva dominante de la didáctica de las ciencias se sustenta en una concepción principalmente anglosajona, que la conceptualiza como la construcción o apropiación de conocimientos sobre la ciencia, buscando comprender sus conceptos estructurantes, teorías y modelos. Igualmente, abarca la comprensión sobre la ciencia, es decir, el entendimiento histórico, epistemológico y sociológico de este emprendimiento humano. Esto se conoce como naturaleza de la ciencia y constituye una construcción metadisciplinar trabajada ampliamente en la enseñanza. Dentro de la alfabetización científica también se considera importante el desarrollo de actitudes favorables hacia la ciencia y el establecimiento de relaciones CTS.

Los anteriores elementos son categorías centrales de la alfabetización científica y, por supuesto, constituyen un referente importante para tener en cuenta. No obstante, la propuesta que se está realizando en este capítulo fundamentado en los anteriores, va más allá de esos elementos y buscan posicionar y defender una perspectiva latinoamericana. En Guerrero *et al.* (2024) avanzamos en esta dirección especificando el carácter crítico y, por tanto, político de la alfabetización de acuerdo con el pensamiento pedagógico de Paulo Freire. Al tiempo, se inició un ejercicio de estudio y apropiación de la teoría decolonial para construir una nueva posibilidad de trabajo para la enseñanza de las CSCA que rescate nuestras raíces y potencie nuestra identidad.

La alfabetización científica y ambiental crítica desafía a los(as) estudiantes y educandos(as) para que analicen la idea de progreso científico con precaución, porque este se instrumentaliza a intereses técnicos y extractivistas del mercado. En la medida que la ciencia contribuye con la generación de innumerables mercancías y contribuye con la falsa promesa que solo con conocimiento científico y tecnológico se podrá solucionar los complejos impactos de la crisis climática pierde su esencia formativa, por esa razón la problematización realizada sobre esta crisis y el papel de la

transdisciplinariedad hacen parte de este proceso de alfabetización porque representan la lectura crítica de mundo que tanto insistió Freire (1989).

Esta lectura crítica exige reconocer el diagnóstico que se ha hecho de la crisis climática de los esfuerzos de científicos que han elaborado los informes del IPCC y de los trabajos de los investigadores europeos sobre los límites planetarios asociados a la insostenibilidad del desarrollo capitalista, aunque implica cuestionar la alternativas ofrecidas en la agenda global reducida a la adaptación frente al cambio climático y, en el mejor de los casos, la mitigación, ya que no avanzan en proponer, sobre todo, impulsar la transformación profunda del modelo de desarrollo capitalista dominante.

El IPCC (2023) caracterizó los impactos del cambio climático y actualizó los escenarios que alertan los riesgos que enfrentará la humanidad si no se toman las medidas necesarias. Las continuas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) implicarán el aumento medio de la temperatura en 1,5 °C, en el mejor de los casos a corto plazo. En el caso que no se tomen medidas y se continúen incrementando la emisión de GEI el riesgo será más alto e implicará el aumento medio de la temperatura en 2 °C, 3 °C y 4 °C respectivamente, en relación con los datos de referencia registrados entre 1850-1900.

Con el calentamiento global en cualquier escenario, los cambios regionales en el clima se sentirán con mayor intensidad experimentando temporadas de calor con mayor frecuencia generando peligros y riesgos en los seres humanos y en los ecosistemas de todo el planeta. En el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023, p. 43) se representa con claridad que se han observado cambios significativos en la temperatura en todas las regiones del mundo y que existe alta evidencia de los cambios que se han experimentado en prácticamente todos los lugares, a excepción de algunas zonas en Norteamérica, Suramérica y África, en donde no hay suficiente evidencia o se carece de información al respecto.

Los cambios extremos en la temperatura global del planeta influyen en las precipitaciones o lluvias en las distintas regiones del mundo y en el aumento del nivel del mar debido a la pérdida progresiva de los glaciares. En gran parte de las regiones del mundo las lluvias serán menos frecuentes y en donde se incrementarán, como en zonas extremadamente secas de África y Asia, no representarán un aumento significativo. La alteración en los procesos de precipitación pluvial generará sequías que impactará la agricultura y los ecosistemas. Las regiones y países que más sufrirán los efectos del cambio climático son aquellos en los que se concentra un alto grado de densidad poblacional y corresponde a las naciones pobres concentradas en América Latina y África.

El cambio climático ya es una realidad e impacta los sistemas humanos y los ecosistemas de forma sistemática y multidimensional. La afectación ya existe y continuará en la producción de alimentos y la disposición de agua potable. El incremento de enfermedades causadas por vectores infecciosos debido a la proliferación de insectos portadores de patógenos que desencadenan enfermedades como malaria, dengue y chikungunya se sentirá con más fuerza. Los problemas de malnutrición y hambre se intensificarán, así como los problemas de salud mental y migraciones por falta de recursos. Los daños en la infraestructura de ciudades serán evidentes, debido a inundaciones, ciclones y huracanes. La afectación en los ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce crecerá y la pérdida de la biodiversidad será significativa junto con los cambios estacionales.

Los impactos del cambio climático descritos y analizados por el IPCC (2023, p. 49) son contundentes y evidencian con claridad que la dimensión del riesgo es alta, tanto para los sistemas humanos como para los ecosistemas; igualmente hay evidencia en gran parte de los aspectos considerados en prácticamente todas las regiones del planeta. Existen algunos aspectos para el caso de los sistemas humanos y los ecosistemas que aún tienen poca evidencia, lo cual es representado por menos cantidad de puntos en los cuadros del IPCC (2023, p. 49) en imágenes de su informe con un

guion (-), cuando la evidencia es limitada o insuficiente, en el caso que no se presente evaluación al respecto se representa con una barra oblicua (/). En este sentido, no hay evidencia suficiente frente a la afectación de la salud mental en África y en islas pequeñas del pacífico, tampoco se ha evaluado este aspecto en Suramérica y Centroamérica. En el caso de las afectaciones a los ecosistemas no hay evidencia suficiente en los efectos del cambio climático en los ecosistemas de agua dulce en la región denominada como Australasia, que incluye Australia y Nueva Zelanda. Tampoco hay evidencia suficiente para evaluar los cambios en los ciclos estacionales de los ecosistemas terrestre y agua dulce en Suramérica y Centroamérica, por señalar algunos ejemplos.

En el caso específico de Colombia, Alarcón (2019) presenta un análisis del cambio climático para el periodo 2011-2040 tomando como referencia los valores sobre temperatura media anual, humedad relativa y precipitación anual del periodo 1971-2000. La previsión considera que la temperatura aumentará alrededor de los 2°C por encima de lo observado en el periodo de referencia, con aumento de hasta 4°C en diferentes regiones al finalizar el 2040. El calentamiento será más alto en el Valle de Magdalena, la Orinoquía, una considerable área de la Amazonia, el sector del Caribe y el sur de la costa Pacífica. No obstante, en un escenario más dramático se podría registrar un aumento de temperatura hasta de 6°C, las alteraciones en las precipitaciones podrían estar entre el -15 y 30 %.

En el marco de las previsiones descritas por el autor citado, las formaciones vegetales de nieve y páramo desaparecerán, por tratarse de ecosistemas muy sensibles su respuesta a la adaptación es muy baja y es improbable que se desplacen a otras zonas. Esto sin mencionar las graves afectaciones que viven por causa de la minería, ganadería y agricultura. Los bosques alto andinos prácticamente desaparecerán y los bosques bajos húmedos se reducirán drásticamente. El aumento de temperatura hará más seca las zonas de los bosques tropicales secos de la Guajira, Huila y

Atlántico, lo que propiciará condiciones óptimas para el incremento de incendios forestales.

Gran parte del agua usada por la población colombiana para diversas actividades, destacando especialmente la agricultura, proviene de fenómenos de escorrentía, que, de acuerdo con el funcionamiento hidrológico del país, varía en promedio de 1644 mm y, específicamente, se encuentra el rango mínimo de 100 mm en la península de la Guajira hasta escorrentías mayores de 6000 mm en el Pacífico. Estos valores cambiarían drásticamente registrándose los valores más bajos en los altiplanos cundiboyacenses y nariñense, el departamento del Valle del Cauca, la cuenca del río Patía y el bosque seco de la Tatacoa (Alarcón, 2019).

Siguiendo los datos consolidados por Alarcón, sin duda alguna, la falta de agua afectará la vocación agrícola del país y, con ello, la lucha por la seguridad alimentaria; las enfermedades infecciosas, como la malaria, proliferarán por lo menos en el 60 % del territorio colombiano, con condiciones ecológicas favorables para estas enfermedades. El riesgo aumenta por las condiciones sanitarias habitacionales de gran parte de la población colombiana ubicada en zonas de riesgo, lo cual aumenta la vulnerabilidad. El 21 % del territorio presenta una alta vulnerabilidad de sufrir inundaciones y, paradójicamente, la reducción de agua para atender actividades agrícolas, domésticas e industriales podría estar en un 11 %, las zonas con vocación agrícola se reducirán en un 20 %.

Aunque el IPCC (2023) aporta elementos valiosos para entender el cambio climático y sus impactos en los sistemas humanos y en los ecosistemas, sus análisis frente a la adaptación o mitigación se inscriben en la agenda política internacional que no cuestiona el modelo de desarrollo existente, lo que deja intacto e invierte esfuerzos en establecer análisis sobre los esfuerzos que se han hecho en las distintas regiones para la adaptación. Si bien se alerta con gran preocupación sobre las consecuencias irreversibles del cambio climático, la crisis es estructural y profunda, tal como se

ha discutido en otros apartados de este capítulo, y no puede perderse de vista que es una crisis civilizatoria, lo cual forma el elemento central de la problematización que se hace de esta problemática, de acuerdo con la alfabetización científica y ambiental.

La crisis climática demanda la transformación de la concepción del desarrollo que aún siguen gobiernos de nuestros países latinos, aferrados a la lógica de buscar ser emergentes para luego entrar en el club de los países desarrollados, frente al crítico escenario es necesario emprender acciones individuales y colectivas que cuestionen esto. La problematización de la crisis climática nos conduce a tomar acciones sociopolíticas que, en primer lugar, exijan a los gobernantes el cambio estructural del modelo de desarrollo tanto en el ámbito local como planetario.

La teoría decolonial contribuye a fundamentar las acciones sociopolíticas que buscan transformar el modelo hegemónico extractivista porque sitúa el origen de la modernidad en la raíz estructural de la explotación tanto humana como de la naturaleza. Esto es la conquista española, que representó prácticamente el exterminio de la cultura ancestral perteneciente a una gran civilización amerindia; en realidad, parte de Abya Yala, tal como se llamaba el continente americano por los pueblos indígenas, sociedades altamente avanzadas en muchos ámbitos sociales y económicos basados en el funcionamiento de la naturaleza que respetaban el funcionamiento de sus ciclos vitales.

Dussel (1994) sustenta con propiedad una perspectiva decolonial que no niega o desconoce la importancia que le otorga el racionalismo crítico a la razón, sino que cuestiona el irracionalismo que se ha promovido envestido por la razón occidental o eurocéntrica que se pretendió establecer como el conocimiento hegemónico universal. Se cuestiona la irracionalidad de la propia razón que a partir de la instrumentalización de la ciencia justifica promesas falsas que explican la posibilidad de ecologizar el capitalismo, la idea de capitalismo verde se desvanece rápidamente porque no representa una alternativa sustentable.

Dussel no niega la razón, pero cuestiona la irracionalidad de la posmodernidad que puede justificar peligrosamente pretensiones conservadoras, elitistas, nihilistas y fascistas; va más allá del análisis crítico de los frankfurtianos, que no lograron superar plenamente su herencia eurocéntrica. En tal sentido propone la transmodernidad, que rescata y potencia la razón emancipatoria, pero que la redimensiona con la otredad, es decir, con el reconocimiento de las culturas que fueron eliminadas violentamente. La transmodernidad surge como un nuevo proyecto de liberación política, económica, ecológica, pedagógica, espiritual y hasta científica. Este nuevo proyecto no deja por fuera la emancipación moderna europea, pero incluye y posiciona en igualdad de condiciones a los pueblos del mundo periférico, es decir que reivindica nuestras propias raíces e identidad.

El nuevo proyecto de la transmodernidad recoge y potencializa la razón crítica de la ciencia para que esta contribuya con el ideario de libertad y justicia olvidado por la instrumentalización del capitalismo; además, rescata el pensamiento ancestral borrado de nuestras conciencias que, para estos tiempos de crisis climática, resulta fundamental para establecer un diálogo de saberes que contribuya con el desarrollo de acciones y prácticas sustentables.

La alfabetización científica y ambiental en la acción individual se traduce en la transformación de patrones de consumo para disminuir los impactos ecológicos de nuestras actividades. Esto significa transportarnos sin emitir GEI, como la movilidad en bicicleta o eléctrica o preferir el transporte público en lugar del privado. Además de apoyar demandas ambientales locales y globales orientadas a exigir el cambio de la movilidad dependiente de hidrocarburos fósiles. Es muy importante restringir el uso de avión y emplearlo en casos estrictamente necesarios.

El consumo de alimentos, prendas de vestir y demás insumos debe hacerse en el ámbito local impulsando y apoyando la agroecología para la producción solidaria y responsable. Es indispensable reducir al máximo

el consumo de agua potable, implementar prácticas de reciclaje de esta y construir sistemas de recolección de agua lluvia. El uso de energía eléctrica debe limitarse a lo necesario y debe impulsarse la generación de energía eléctrica, como parques eólicos y solares; para esto es importante participar en movilizaciones ambientalistas que exigen el abandono del modelo extractivista dependiente de hidrocarburos fósiles, incluyendo el *fracking*.

Estas acciones individuales son un primer nivel de alfabetización científica y ambiental que tienen grandes limitaciones si no se articulan con procesos amplios de movilización social en pro de transformar el paradigma desarrollista extractivista imperante. Entendemos por extractivismo a la explotación indiscriminada de materias primas de la naturaleza orientada a la acumulación de capital, es decir, a la generación de ganancias, en lugar de atender necesidades básicas de las comunidades de forma justa y de respetar los límites ecológicos.

Roa y Navas (2014) presentan experiencias concretas de resistencia y movilización social en Colombia en defensa de los territorios de las comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes, que son los que más han sufrido directamente los impactos del extractivismo y que, con seguridad, ya sienten y sentirán con más fuerza los daños de la crisis climática.

Las autoras puntualizan la manera como el capitalismo se ha transformado en las últimas décadas para mantener una división internacional del trabajo basada en la explotación de materias primas en los países más pobres como el nuestro; para efectos de aumentar las ganancias y el poder de grandes multinacionales y corporaciones que se apropian de los patrimonios naturales, a través de la estrategia de *financierización* orientada a crear títulos de propiedad sobre patrimonios naturales para comercializarlos en mercados internacionales y especular con su intercambio.

Las luchas emprendidas, por ejemplo, por el pueblo u'wa, en Colombia, son un claro ejemplo de la defensa de la cultura ancestral basada en el cuidado de la naturaleza y de la vida, ya que, para su cosmovisión, la

Pachamama es sagrada y, por lo tanto, es inaceptable su explotación al referirse al petróleo, que puede compararse a la sangre que corre por sus venas.

Roa y Navas (2014) detallan el gran impacto de la lucha u'wa contra los intereses económicos extractivistas de la *Petroleum Company*, corporación que buscó explotar el petróleo en el municipio de Cubará, en el Departamento de Boyacá, zona que hace parte de la gran nación indígena u'wa. El proceder de este pueblo no siguió la racionalidad técnica instrumental de occidente que buscaría realizar los estudios de impacto para tramitar la respectiva licencia que asegure la supuesta explotación sostenible de este hidrocarburo, tampoco siguió el derecho ambiental liberal basado en el principio moderno de equivalencia para pedir compensaciones económicas para revertir los daños. La acción sociopolítica de este pueblo ancestral fue contundente: oponerse pacíficamente para que la explotación petrolera no ocurriera en defensa de la Madre Tierra. La alfabetización científica y ambiental como política cultural implica apoyar y, en el mejor de los casos, acompañar en los territorios luchas como las del pueblo u'wa, que evidencia el ejercicio de la justicia ambiental basada en la defensa de los derechos de la naturaleza y la construcción de la sustentabilidad ambiental desde los territorios.

Roa y Navas (2014) describen otras importantes experiencias de lucha ambiental en los territorios colombianos que denotan con claridad acciones sociopolíticas comprometidas con la defensa de la naturaleza y constituyen una importante alternativa para enfrentar la crisis climática que busca transformar el problema estructural adyacente a la concepción del desarrollo y progreso ancorada en la sociedad occidental. La lucha de las mujeres en Doima-Piedras Tolima contra el proyecto minero la Colosa; las gestas contra la explotación petrolera en Acaías, Meta; Tauramena, Casanare; y Sumapaz, Cundinamarca, por parte de las comunidades campesinas que dicen: “Agua sí, petróleo no” son otros ejemplos de experiencias que tejen una nueva narrativa que recibe apoyo de amplios sectores sociales y

que representa una nueva manera de concientizar a todos y todas frente a los graves y complejos problemas ambientales que vivimos.

La acción sociopolítica contra la explotación de hidrocarburos en Colombia, la transformación de la matriz energética, el desarrollo de prácticas comunitarias y solidarias para la producción de alimentos y la reconstrucción del modelo productivo, entre otros aspectos, da cuenta de la esperanza y la búsqueda de las causas estructurales de la crisis climática, más allá de las políticas de adaptación y mitigación promovidas por la agenda global.

Por último, retomo y amplío los planteamientos que hicimos en Guerrero *et al.* (2024), en términos de presentar algunos aspectos para que los profesores(as) de ciencias y educadores(as) ambientales tengan en cuenta para trabajar las CSCA en la práctica docente en el marco de una perspectiva crítica decolonial:

- ▶ Entender la ciencia como una actividad política, en la que el profesorado reflexione y problematice los conocimientos científicos desde una perspectiva local y global, estableciendo un diálogo permanente con los saberes de las comunidades indígenas, afrodescendientes y campesinas para vislumbrar acciones sociopolíticas sustentables, que contribuyan con la superación de la ruptura que estableció Occidente con la naturaleza y que constituye el problema esencial de la crisis ambiental y de la crisis climática.
- ▶ Generar espacios de encuentro y colaboración entre miembros de la institución educativa y su comunidad para emprender proyectos escolares que auxilien la ruptura del aislamiento de las instituciones escolares frente a problemáticas sociocientíficas y ambientales. Se trata de que los profesores traten CSCA como la crisis climática en los territorios, identificando los actores sociales involucrados para construir propuestas colectivas alternativas que valoren tanto los saberes personales como profesionales, instituciones y sociales.

- ▶ Diseñar estrategias de enseñanza basadas en la problematización, la transdisciplinariedad y la formación en acciones sociopolíticas comprometidas con la justicia y sustentabilidad ambiental. Pueden estructurarse las CSCA a partir de los conflictos socioambientales identificados en el Atlas global de justicia ambiental.⁵ Las estrategias pueden fomentar la alfabetización crítica y ambiental o el pensamiento crítico de los(as) estudiantes o educandos(as) para comprender problemáticas complejas.
- ▶ Es relevante reconocer los aportes de otros sistemas de conocimientos, como los ancestrales de los pueblos de Abya Yala, para buscar un recuento con la naturaleza en la búsqueda de nuestra propiedad identidad y de nuestra propia naturaleza. En este sentido, la teoría decolonial provoca una reflexión profunda sobre la hegemonía eurocéntrica y anglosajona, que imponen la idea de progreso y desarrollo capitalista como el único camino posible; frente a esto se abren nuevas posibilidades de mundos futuros desde la transmodernidad, que implica el reconocimiento del otro al representar a toda la cultura del sur global que se ha excluido de la cultura europea universal y se guía por la utopía pluriversa reconocedora de los aportes de la modernidad, pero los recontextualiza a las distintas culturas humanas buscando superar las asimetrías de poder constituidas históricamente.
- ▶ La articulación de la enseñanza de la ciencias y la educación ambiental en el abordaje de las CSCA en la práctica del profesor pueden propender a corto, mediano y largo plazo por la construcción de políticas públicas democráticas en Latinoamérica, que contribuyan con la formación permanente del profesorado de ciencias y de educadores(as) ambientales, quienes, a su vez, favorezcan la construcción de nuevas propuestas curriculares que vayan más allá de las instituciones educativas y ofrezcan a los(as) estudiantes y educandos(as) nuevas

5 <https://ejatlas.org/?translate=es>

posibilidades para tratar las compleja relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente.

El abordaje de las CSCA en la práctica docente comprende una perspectiva crítica, compleja y transmoderna que busca el empoderamiento de los(as) estudiantes y educandos(as) en procesos profundos de alfabetización científica y ambiental para la construcción de acciones sustentables basadas en la justicia ambiental.

Para seguir pensando: no más masacres de los bosques en la Amazonia

En la siguiente lectura se ofrece una reflexión sobre la destrucción de la selva amazónica. A partir de su lectura y del esquema presentado en la figura 8, proponga el abordaje de esta problemática como cuestión sociocientífica y ambiental (CSCA) en su práctica docente o educativa.

No más masacres de los bosques en la Amazonia

Publicado en *El Espectador* el 19 de febrero de 2022.

Leonardo Fabio Martínez Pérez

En los últimos días se han publicado en diferentes medios de comunicación, y en las redes sociales, alarmantes noticias relacionadas con quemas de grandes dimensiones de la Amazonia colombiana, región que comprende los departamentos del Amazonas, Putumayo, Caquetá, Guainía, Guaviare y Vaupés y, parcialmente, departamentos como Meta y Vichada. Además, alberga en su interior áreas caracterizadas por su amplia biodiversidad, como la serranía de la Macarena y el Chiribiquete, que constituyen un corredor ecológico esencial y estratégico entre los Andes y la Amazonia, no solo para las especies, sino para la regulación del sistema hídrico. El Área de Manejo Especial de la Macarena (AMEM)

fue declarada en 1989 por el Gobierno nacional para priorizar su conservación y está conformada por cuatro parques nacionales naturales (PNN), dentro de los que se encuentra el Parque Nacional Natural Tinigua, sobre el que se han centrado las manifestaciones de preocupación y publicaciones recientemente.

Las quemadas, que suelen presentarse a inicio de año, se han multiplicado, y están amenazando seriamente su existencia y menguando progresivamente las coberturas vegetales nativas que lo conformaban, y con ello su riqueza ecosistémica y de biodiversidad. De acuerdo con Rodrigo Botero, director de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, en un sobrevuelo al AMEM realizado a finales de enero de 2022, pudo apreciar cómo los incendios se han multiplicado en las últimas semanas, acabando de manera progresiva con los últimos remanentes de bosque del PNN Tinigua. Si bien reconoce que toda la Amazonia se encuentra en el mismo riesgo, indica que ninguna otra área se encuentra en una situación tan preocupante.

De acuerdo con los datos de la *Global Forest Watch*, en el PNN Tinigua hubo 700 alertas de incendios entre el 22 de enero y el 4 de febrero del 2022. Según la profesora Sandra Vilardy, entre el 2002 y el 2020 se perdieron 48 000 hectáreas de bosque primario húmedo en el parque, lo que significa que en menos de veinte años se perdió el 90 % de los bosques primarios de un parque amazónico. Tinigua ha sido el parque más deforestado desde el 2018. Asimismo, Dolores Armenteras, doctora en Geografía, indicó que los incendios cambian la composición del suelo y, en consecuencia, del ecosistema, lo que implica pérdidas de biodiversidad. Un reflejo de esto es la pérdida de diversidad acústica de los murciélagos, evidenciada en la investigación realizada por la doctora Armenteras y la bióloga Laura Obando.

Además de la irremediable pérdida de biodiversidad con la deforestación, otro asunto que preocupa a los expertos es el papel que tienen los bosques en el ciclo del agua y cómo la progresiva pérdida de coberturas

vegetal nativa puede afectar la producción de agua que ocurre en páramos como el de Sumapaz y Chingaza, al igual que los nocivos efectos sobre el clima, pues, de acuerdo con la *Global Forest Watch*, el PNN Tinigua está emitiendo más emisiones de las que puede capturar.

Teniendo en cuenta lo anterior, 190 académicos, expertos y especialistas en temas ambientales han allegado al presidente Iván Duque y al ministro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible una carta, mediante la cual solicitan la intervención directa e inmediata del Gobierno nacional para frenar la deforestación de la Amazonia, teniendo en cuenta que, como ya se dijo, la situación no constituye un evento aislado, sino un patrón que se repite año tras año en temporada seca, principalmente, y que tiende a intensificarse con el transcurrir del tiempo. Situación que, como indica el geógrafo Nicolás Pérez, puede alcanzar grados de degradación irreversibles.

Toda esta situación constituye un síntoma de un problema mucho más profundo y complejo, que es necesario reconocer para poder atender. Como señaló Alfredo Molano en su artículo “Aproximación al proceso de colonización de la región del Ariari-Güejar-Guayabero”, en La Macarena la desarticulación con los mercados regionales, los altos costos de vida y la estigmatización de los campesinos como aliados de la guerrilla han configurado un desarrollo rural fallido, en el que la colonización ha sido la tendencia. De otra parte, el desalojo de las extintas FARC-EP de aquellos territorios ocupados durante el conflicto, la falta de presencia estatal y las dificultades en el cumplimiento de los Acuerdos de Paz han abierto paso a que diferentes actores incursionen en el territorio.

El regreso de actores armados e insurgencias que disputan el control territorial, la incursión de latifundistas y ganaderos que pagan por ampliar la frontera agrícola, en una región sin muchas alternativas de desarrollo económico, y la declaratoria de las áreas protegidas se han realizado sin considerar a los pobladores, que a su vez luchan por hacer del ecoturismo

su fuente de sustento, pero en temporadas secas se ven abocados a incursionar en economías ilegales. La estrategia estatal de conservación ha sido principalmente liderada por el Ejército, sin resultados plausibles y con serias críticas por presuntas violaciones a los derechos humanos, tal como indica la Fundación Ideas para la Paz. Todos estos elementos plantean un panorama muy complejo para abordar.

En este sentido, el conflicto armado, la marginación y estigmatización de los territorios y sus pobladores, la incipiente implementación de los Acuerdos de Paz y de políticas de desarrollo rural en el país, así como la incursión de economías ilegales, son asuntos que han sido ampliamente analizados por diversos académicos y que el Estado debe tener en cuenta de manera cuidadosa para proyectar acciones efectivas que permitan atender el problema de raíz.

Es necesario que, ante este panorama desolador, toda la ciudadanía se movilice contundentemente con diversas acciones políticas y educativas que resalten la importancia de conservar la riqueza natural y cultural de la Amazonia, y exigir su protección ante el Gobierno nacional e instancias internacionales.

Despleguemos toda nuestra creatividad para generar acciones orientadas a detener la masacre de los bosques y especies que habitan estos territorios, que sin duda son la fuente de la vida, del aire, del agua y de los alimentos que consumimos en las ciudades. Es fundamental comprender que la lucha por la Amazonia es la lucha por nuestra propia existencia, por la existencia de nuestros hijos y nuestras familias. Tal como lo diría Enrique Leff: “Hoy las luchas por la reapropiación de la naturaleza son las luchas por el derecho a la diferencia cultural, por el derecho a vivir con y en la naturaleza, a forjarse una identidad y a diseñar un estilo de vida”. Un estilo de vida distinto a la ganadería extensiva, a la deforestación, la destrucción del suelo, del agua y en sí a la destrucción de la vida.

Consideraciones finales

Finalmente, ofrezco una síntesis de los aportes teóricos y metodológicos constituidos a lo largo de la obra. Al tiempo, propongo algunas recomendaciones a los(as) profesores(as) de ciencias y educadores(as) para abordar cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA) en la escuela y en otros escenarios educativos, como una propuesta de enseñanza que busca mejorar los procesos formativos que se adelantan con estudiantes y educandos(as).

Abordar las CSCA en los procesos de enseñanza implica reconocer que hacen parte del cotidiano, además de fomentar la razón activa, los sentires de las personas sobre su comprensión de la ciencia y la tecnología. Para el ejercicio profesional se requiere una apropiación teórica; en este libro la perspectiva es crítica, como elección intelectual argumentada, para el caso del lector se invita a realizar un proceso de elección consciente y fundamentado que le permita avanzar en su propio proceso formativo y que impacte los procesos educativos y didácticos desde su área de actuación, sea esta la biología, la química, la física, las ciencias de la tierra o las ciencias de la naturaleza o la educación ambiental.

Estos procesos de enseñanza permiten y deben promover el cuestionamiento de una ciencia paradójica, que, por un lado, trae el bienestar

especialmente humano y, por el otro, acarrea consecuencias nefastas. En tal sentido, los(as) profesores(as) y educadores(as) no están impartiendo un conocimiento neutro, muy al contrario, realizan un ejercicio que involucra valores, ideologías, intereses y conquistas, todo esto inmerso en periodos históricos.

Tal como se relata en el primer capítulo, la ciencia que enseñamos se construye desde postulados internalistas y externalistas, así como racionalistas y relativistas, para lo cual diversos autores han contribuido y desde la propuesta del campo, expuesta por Bourdieu, se posibilita una configuración transversal. Por tanto, el desarrollo científico y tecnológico ocurre en comunidades, se gesta en procesos epistemológicos autónomos, pero mediados por disputas y relaciones de poder frente a la construcción de capitales simbólicos, al igual que la lucha por la legitimidad y autoridad científica del campo, el cual, a su vez, interactúa con el contexto social que también abarca disputas económicas, políticas, culturales y ambientales. Así se busca trascender las dicotomías entre internalismo y externalismo; objetividad y subjetividad; razón y emoción; racionalismo e irracionalismo, entre otras dualidades que no contribuyen para pensar la dinámica compleja y holística de la ciencia.

La comprensión crítica sobre el funcionamiento del campo científico es relevante para el análisis de las cuestiones o controversias científicas y ambientales, ya que ofrece una nueva manera de interpretar las relaciones de poder, los intereses involucrados, la conformación del capital simbólico y las disputas por posicionar la voz que lidera lo que es aceptado como válido. La configuración de este campo de disputa es dinámica y cambia históricamente, como los nuevos agentes que van construyendo su capital simbólico y social para refutar o superar las voces dominantes de los agentes que generalmente tienen más tradición y experiencia.

En el segundo capítulo, se presenta el caso de la emergencia de la química como ciencia moderna y se invita a pensar en otros ejemplos de

nuestras áreas de conocimiento que incluyen el matiz histórico y sociológico, más allá de dualismos, se propone una comprensión dinámica. Las disputas y la búsqueda del prestigio científico que se ejemplifican desde Lavoisier y Priestley, en la caracterización de las propiedades químicas y biológicas del oxígeno encierran las lógicas de un contexto, como la monarquía dominante, el trabajo experimental, los saberes de la época tal como el pensamiento aristotélico y la alquimia, el reconocimiento de años de trabajo y las necesarias disputas para consolidar el campo.

El ejemplo del caso histórico de la irrupción de la química como ciencia también analiza las complejas controversias que adelantan los protagonistas que componen el campo, los cuales se disputan la autoridad y legitimidad de acuerdo con el capital social que tienen, como es el caso de Lavoisier, que es reconocido ampliamente por la aristocracia francesa que domina esta sociedad. En el mismo sentido, Priestley, cercano a la emergencia del pensamiento liberal que se torna revolucionario, busca consolidar un capital simbólico más fuerte, a partir de su arduo trabajo experimental y, en términos sociales, es reconocido por líderes ingleses que cuestionan el poder monárquico. Así tenemos dos autores ideológicamente diferentes, pero comprometidos con el estudio de los materiales de la naturaleza, frente a lo cual también tienen significativas diferencias. Muchos actores hacen parte de la disputa que se libra por derrumbar las concepciones aristotélicas sobre los cuatro elementos, así como las concepciones alquimistas míticas y la teoría del flogisto. La controversia sería una característica propia del desarrollo histórico de la ciencia y contribuye significativamente con una mejor comprensión y problematización de este emprendimiento humano.

Todas estas concepciones históricas son importantes para la emergencia de la química como campo científico moderno y develan una alta complejidad de agentes que constituyen diversas posiciones en la disputa librada por la autoridad científica. La comprensión de las controversias científicas en la constitución histórica del campo científico de la química

representa una nueva alternativa para entender el origen de esta ciencia en la modernidad y, a partir de esta se pueden pensar propuestas de enseñanza que retomen la discusión histórica de los agentes que disputan la legitimidad científica, para continuar las posiciones y capitales que van configurando. Este aporte puede colocarse en diálogo con otras miradas que existen en la educación en ciencias que consideran que la química se construyó históricamente a partir de periodos de revolución y de estabilidad, es lo que Kuhn (1971) denominó *ciencia normal y revolución científica*, lo cual sustenta el trabajo de Chamizo (2011), quien también contribuye a la enseñanza de las ciencias y puede consultarse para construir otro punto de vista sobre el origen y desarrollo de la química.

Diversos ejemplos en la historia de la química, la biología, la física y las ciencias de la tierra pueden ser profundizados y se propone realizar consultas al respecto para entender algunas controversias históricas de los diferentes campos de conocimiento, tal como la teoría de la evolución desde la selección natural, otorgada a Wallace y Charles Darwin en un contexto de creencias y explicaciones divinas para el origen de la vida. En esta disputa, a diferencia de la presentada en la química, vemos procesos metodológicos propios de la ciencia de lo vivo que resalta la observación, a partir de los viajes realizados por los naturalistas. Igualmente, se evidencia una preocupación por el prestigio a través de la publicación en las revistas reconocidas; sin embargo, para esta disputa se aprecia que en ambas partes hay un reconocimiento mutuo sustentado en los mismos resultados obtenidos.

Con el ánimo de brindar otro de los aportes teóricos para la enseñanza de las ciencias desde el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales (CSCA), en el tercer capítulo se propuso explorar la categoría de la instrumentalización de la ciencia, la cual permite entender la actual crisis civilizatoria que coloca en evidencia al ser humano como agente destructor de la vida. La construcción del conocimiento y la búsqueda de explicación del mundo fue necesaria y revolucionaria, cuestionó dogmas y doctrinas

hegemónicas; no obstante, en el camino de la búsqueda de la verdad, fragmentó, controló, dominó la naturaleza y, de esta forma, también pretendió controlar al propio ser humano. Los teóricos críticos hacen hincapié en una naturaleza subordinada, despreciable y antropocéntrica. Este apartado es una invitación para incluir en nuestros espacios formativos, sean de clase o fuera de ella, reflexiones sobre estos distanciamientos entre naturaleza y ser humano. Al tiempo, cuestionan los mecanismos de perpetuación que se establece con el pensamiento lineal o las visiones duales de mundo, como lo bello y feo, fuerte y débil, poderoso y subalterno, desarrollo y salvaje y enfáticamente un ser humano superior a todas las formas de vida.

La reproducción de esta visión filosófica de dominio a la naturaleza, desde la racionalidad técnica, también se hace presente desde lo expuesto por los autores de la Escuela de Frankfurt sobre la industria cultural, los símbolos utilizados en gran parte de la producción cinematográfica, los cuales van de lo salvaje, lo inhóspito, hasta la misma salvación que va a conquistar el ser humano ante un mundo en crisis, en muchas ocasiones mediado por el emprendimiento de la ciencia y la tecnología. Aquí también se llama la atención sobre la dominación de la mujer como objeto y mercancía que se explota como la naturaleza, estas relaciones pueden ser un campo de enseñanza y de investigación que se requiere continuar abordando para profundizar en las aproximaciones que lleva la crisis civilizatoria occidental en la enseñanza de las CSCA pensando en otras propuestas de enseñanza que consideren las fuertes controversias asociadas al patriarcado, el género y el racismo.

El desconocimiento de la mujer en la historia de la ciencia es un claro ejemplo de la concepción patriarcal existente en este campo que intentó ocultar las capacidades de las mujeres para producir conocimientos teóricos como empíricos. Esto se asocia a la discriminación ejercida y la exclusión que se llevaba a cabo, porque se les relegaba a oficios domésticos o a estereotipos sociales de consumo.

También se discutió la importancia de la educación CTSA como marco de referencia pedagógico y didáctico para el abordaje de las CSCA. Se hace alusión a sus desarrollos históricos basados en el pensamiento de Paulo Freire, que sustenta una ontología y epistemología humanística y transformadora. El abordaje de las controversias se puede estructurar, a partir de preguntas orientadoras que potencien la problematización de la realidad, contribuyan con la lectura crítica de los casos tratados analizando los intereses y posturas de los actores sociales involucrados de acuerdo con aspectos científicos, tecnológicos, económicos, políticos, ambientales y éticos, de tal forma que se abran caminos de encuentro y diálogo para la construcción de consensos y acuerdos que marque el rumbo de la superación de las diferencias.

El abordaje de las CSCA basado en la educación CTSA propende por el desarrollo conceptual, procedimental, actitudinal y axiológico de los estudiantes para complejizar la construcción de conocimiento de los estudiantes, pasando por niveles básicos de identificación de relaciones CTSA. Seguidamente, sucede el análisis de intereses y relaciones de poder establecidas entre los actores sociales participantes, el desarrollo de capacidades para abordar críticamente la controversias explicitando valores y emitiendo juicios éticos, para finalmente tomar decisiones responsables y emprender acciones sociopolíticas sustentables.

La educación CTSA tiene importantes convergencias epistemológicas, pedagógicas y didáctica con la educación ambiental crítica (EAC) y esto amplía el horizonte de sentido educativo para el abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales. Las dos áreas de trabajo cuestionan la ideología del desarrollo sostenible promovido por el capitalismo en su estrategia neoliberal que extiende por América Latina políticas hegemónicas basadas en el derecho omnipresente de la propiedad privada y la libre demanda del mercado, colocándose por encima de derechos sociales, políticos y ambientales de los pueblos. El capitalismo basa su ideario de progreso y libertad en el extractivismo de la naturaleza para sostener la

producción de infinidad de mercancías que se consumen desmedidamente y que ultrapasan los límites planetarios.

Tanto la educación CTSA como la EAC proponen la superación de la ideología del desarrollo sostenible para construir otros mundos y sociedades posibles basadas en la sustentabilidad y justicia ambiental, que reivindica los derechos de la naturaleza, la solidaridad, la fraternidad y la colaboración entre los pueblos para la superación de la crisis ambiental y la construcción de otras formas de producción que respeten los ritmos y equilibrios sensibles de la Madre Tierra.

En la EAC el abordaje de las CSCA potencializa la sustentabilidad ambiental, trascendiendo la interdisciplinariedad y multidisciplinariedad para dar paso al diálogo de saberes como encuentro profundo entre culturas y diversas cosmovisiones, las cuales colocan como centro el respeto de todas las formas de vida. Así se erige una nueva epistemología y racionalidad ambiental, como es sustentado ampliamente por Enrique Leff, Eduardo Gudynas, Leonardo Boff, entre otros autores latinoamericanos que contribuyen con nuevos desarrollos teóricos y metodológicos para estructuras prácticas educativas y de enseñanza críticas y transformadoras.

Con base en los planteamientos esbozados sobre la educación CTSA y la EAC se analiza, a manera de ejemplo, la CSCA de producción y posterior prohibición del DDT en la agricultura, que implicó consolidar evidencias y argumentos en contra de su uso, por más de 40 años. Este caso es muy significativo y clásico para los procesos de enseñanza de las ciencias y la educación ambiental por la potencialidad que ofrece en la comprensión de controversias sociocientíficas y ambientales. El texto de Rachel Carson de 1969, además de ser un clásico y de su necesaria lectura para los(as) profesores de ciencias y educadores ambientales, denuncia la situación que desencadenaba el uso de estas sustancias en los organismos y para efectos metodológicos es un buen trabajo, que aborda temas de participación

ciudadana y toma de decisiones que se requieren en el ámbito gubernamental frente al uso de agrotóxicos, que deben recrearse en la educación, así como la regulación del desarrollo científico por parte del Estado.

Como parte del ejercicio profesional de los futuros profesores(as) y de los(as) profesores(as) en ejercicio, conocer el estado actual de la investigación del abordaje de las CSCA en Iberoamérica es significativo, ya que, desde este lugar, además de conocer nuevos referentes teóricos, se puede apreciar procesos metodológicos para ser desarrollados con los estudiantes, pues la investigación hace parte de la práctica docente. Investigar para enseñar es indispensable, tal como nos enseña Paulo Freire en su texto de la autonomía del profesor (2002, p. 29): “Enseño porque busco, porque indagué, porque indago y me indago. Investigo para comprobar, comprobando intervengo, intervengo, interviniendo educo y me educo”.

Aproximar al profesorado de ciencias y a los(as) educadores(as) ambientales a la producción académica sobre CSCA entre 2019 y 2024 es importante y se avanzó en ello, a partir de los planteamientos esbozados en el cuarto capítulo, que constituye una invitación para sumergirse en la literatura académica existente sobre el tema, para continuar profundizando en las diferentes tendencias identificadas, especialmente en aquella que hace alusión a la formación del profesorado y al establecimiento de relaciones entre la educación ambiental, la educación en ciencias y el consecuente abordaje de las CSCA.

En este sentido, hay una clara coherencia con la democratización del acceso abierto al conocimiento científico, porque, así como se realiza un análisis crítico al desarrollo de la ciencia y la tecnología en la modernidad, actualmente las lógicas capitalistas del utilitarismo en el cual son pilares la eficiencia, la productividad y la competencia, nos cuestiona y nos lleva a defender el derecho al conocimiento como patrimonio común que no debe comercializarse.

En este cuarto capítulo nos adentramos en diferentes revistas académicas para revisar categorías de interés, permitiendo tener un mapa general del abordaje de las CSCA en los diversos países iberoamericanos, centrando la mirada en los propios desarrollos de América Latina. Los procesos de exclusión ocurren también en la visibilidad de las regiones y colocan el desafío de configurar una comunidad académica más fuerte en el abordaje de las cuestiones sociocientíficas y ambientales para nuestros contextos, ya que no encontramos revistas indexadas en Publindex, SciELO y Latindex en Ecuador, Venezuela, Perú, Bolivia y en países centroamericanos, a excepción de México, que hagan alusión específica a la enseñanza de las CSCA o temas afines. Esto nos lleva a reflexionar profundamente sobre lo que circula en revistas que gozan de un importante prestigio en nuestra región por los rigurosos procesos de arbitraje y edición. Es necesario buscar otras fuentes de consulta, como libros, ensayos y publicaciones no indexadas, especialmente en esos países para rastrear que está ocurriendo con la enseñanza de controversias o indagar directamente con los profesionales responsables por la formación de formadores.

La categoría naciente referida a la educación ambiental y las CSCA que sustentan el avance hacia aspectos propios del diálogo de saberes, el buen vivir, conflictos ambientales, sustentabilidad y cambio climático representa una esperanza para construir una mirada compleja y transdisciplinar frente a la fragmentación que caracteriza el currículo. El significado de las CSC hacia lo ambiental es central para responder a la crisis que vivimos en términos de destrucción de la biodiversidad, agudización de la contaminación del aire, el suelo y el agua, así como la crisis climática y los problemas de justicia ambiental.

En el quinto y último capítulo, se plasmó la propuesta concreta del abordaje de las CSCA para la práctica docente sustentada en la perspectiva crítica y transversal de la ciencia, al igual que en los aportes de la epistemología compleja y la justicia ambiental a manera de categorías centrales para articular la enseñanza de las ciencias con la educación ambiental. Este

cuadro teórico es dialéctico, dialógico y holístico porque busca superar la fragmentación histórica de la sociedad occidental con la naturaleza y desestructurar la racionalidad técnica e instrumental de la ciencia que ha apoyado ese proceso de fragmentación y explotación de la Madre Tierra.

El diálogo entre los referentes críticos de la enseñanza de las ciencias y de la educación ambiental crítica potencializa el cuestionamiento del modelo de desarrollo capitalista, que afianza la ruptura de la sociedad occidental con la lógica extractivista gananciosa de grandes multinacionales y corporaciones privadas. Además, se legitima con la complicidad de sus nuevas formas de dominio, como lo es el neoliberalismo, que reduce al máximo la intervención estatal en el mercado y reduce significativamente la materialización de derechos sociales que, por supuesto, ignora por completo los derechos de la naturaleza o los tergiversa para no concederlos, fundamentando esto en la doctrina liberal del derecho, la cual considera el principio de equivalencia central para el establecimiento un valor monetario a todas las cosas, incluyendo a la naturaleza y al propio ser humano. Es la lógica de la compensación económica para, supuestamente, reparar el daño; esto es evidente en el funcionamiento de las compañías de seguros y en los créditos de carbono.

La búsqueda de la justicia ambiental constituye un referente central para lograr construir acuerdos entre los agentes sociales que disputan sus posiciones en las controversias sociocientíficas y ambientales. Los avances de las luchas emprendidas por los pueblos de Bolivia y Ecuador representan una muestra concreta para materializar esta justicia, especialmente en el segundo caso, que la ha hecho realidad en su constitución.

La participación social y, para ello, la alfabetización científica y ambiental estructura otra dimensión relevante en el abordaje de las CSCA, que también se basa en la lectura del mundo y su problematización a partir del lenguaje y el diálogo conforme Paulo Freire enseñó. Este proceso político y transformador supera la acepción predominante de la

alfabetización científica de herencia anglosajona, que centra la atención en el conocimiento de la ciencia y sobre la ciencia. Queda como horizonte de sentido que desafía al profesorado y a los educadores(as) para fomentar el pensamiento crítico como otra perspectiva de trabajo para formar y empoderar a los(las) estudiantes y educandos(as) frente a la crisis social y ambiental que padecemos como sociedad occidental.

El abordaje de las CSCA en la práctica docente se colma de sentido y promete la gesta de importantes cambios en la enseñanza cuando se realiza a través de colectivos de maestros o comunidades de práctica que basan su actuación en la investigación sobre su propio ejercicio docente. Guiados por el principio de reflexión-acción, acción-reflexión, se evidencia el avance de varias experiencias de maestros(as) en Colombia y Brasil que dan cuenta de los aportes formativos en el abordaje colectivo interdisciplinar de controversias constituidas a partir del propio contexto social de los(as) estudiantes.

A partir de experiencias docentes concretas e investigaciones sobre el abordaje de las CSCA se propone una bitácora de viaje para atreverse a desafiar la enseñanza convencional que dar paso a un ejercicio didáctico comprometido con la problematización de controversias, la transdisciplinariedad y el desarrollo de acciones sociopolíticas para la sustentabilidad ambiental. El profesorado y los(as) educadores(as) son invitados a crear múltiples entradas y relaciones entre las dimensiones comprendidas en la bitácora de viaje, que hacen alusión al análisis crítico de la ciencia, la sustentabilidad ambiental, la alfabetización crítica, el desarrollo de pensamiento crítico y las acciones sociopolíticas para construir otros mundos posibles en medio de las distintas crisis que vivimos.

A manera de ejemplo, se discutió la crisis climática como una CSCA, caracterizando las disputas existentes en el campo científico para caracterizar el cambio climático como un problema generado por la actividad antrópica exacerbada en el capitalismo industrial, el extractivismo y la financierización

de la naturaleza. El análisis transdisciplinar y complejo de la crisis climática pasa por la comprensión de los aportes del IPCC, los académicos europeos que documentan el sobrepaso de los nueve límites planetarios por cuenta del modelo desarrollista hegemónico, hasta el análisis crítico de las propuestas de adaptación y mitigación como discurso dominante de la agenda internacional de las políticas ambientales impulsadas por la ONU, como la Agenda 30 y los ODS. El problema estructural de la crisis climática ancorado en la propia crisis de la civilización occidental y, específicamente, en la defensa del mito de justicia y libertad de la democracia liberal que también sustenta el capitalismo, se torna inviable y desolador porque gesta la posible extinción de miles de especies, incluyendo la especie *Homo sapiens*.

La sin salida creada por el propio modelo de desarrollo adoptado en los últimos siglos por Occidente nos conduce a construir un nuevo proyecto político, económico y ambiental para buscar alternativas a la crisis climática como expresión de la crisis ambiental. Este proyecto va más allá de nuestra propia perspectiva crítica y se encuentra en la teoría decolonial, que revitaliza de esperanza nuestras búsquedas para rescatar nuestras raíces ancestrales y reconstituir la identidad.

Este nuevo horizonte decolonial está irrumpiendo con fuerza en la educación en ciencias y en la educación ambiental. Promete constituirse en un referente indispensable para el abordaje de las CSCA en la práctica de profesores de ciencias y educadores ambientales. Se trata de un cuestionamiento epistemológico profundo del pensamiento occidental dominante en nuestras prácticas y comunidades.

Junto con los elementos propuestos por Enrique Dussel, que se han abordado en este libro sobre el comienzo de la modernidad en Latinoamérica, a partir de la conquista, y con ello la instauración de un conjunto de relaciones sociales, económicas y políticas coloniales, que se continúan reproduciendo en el capitalismo de nuestros tiempos. Es importante ensamblar otros aportes, tales como los ofrecidos por el puertorriqueño

Ramón Grosfoguel y la estadounidense Catherine Walsh —residente en Ecuador por más de 30 años—, entre otros autores, para dialogar ampliamente con sus aportes para recontextualizarnos en la educación en ciencias y la educación ambiental.

La perspectiva decolonial potencializa o revaloriza positivamente la teoría crítica que ha sustentado nuestro trabajo en el abordaje de las CSCA en los últimos 22 años, ya que, en términos epistemológicos y educativos, avanza y revitaliza el cuestionamiento de la lógica dominante del pensamiento eurocéntrico que orienta gran parte de las dinámicas de formación construida en las universidades, para entender los procesos de dominación social, exclusión, desigualdad, violencias materiales y simbólicas que se enuncian en proceso de segregación y exclusión, conforme cuestiones de clase, raza, género y creencia. Todo el entramado de injusticias aún perdura en nuestros países y hace parte de una cultura occidental que se inviste de autoridad universal para desconocer otros sistemas de pensamiento que aún resisten y existen en los territorios locales posibilitando la diversidad y la otredad.

Conviene preguntarnos si en la ciencia que enseñamos existe una herencia colonial y qué característica tendría. Para aproximarnos a respuestas plausibles podemos retomar el análisis propuestos por Grosfoguel (2023), quien ubica la construcción del pensamiento cartesiano dualista que separó el ser humano de la naturaleza, instrumentalizándola y cosificándola, se sustenta en cierta forma en la emergencia del método racionalista de la ciencia moderna como parte de un proceso de secularización de las narrativas de la cristiandad que se instaló desde Constantino en el Imperio romano para hacer alusión a la representación de Dios a través de los poderosos de la época, que estarían investidos de divinidad y por esa razón se les arrogaba el derecho de ejercer su poder en la tierra. En esta lógica dualista la naturaleza es vista como algo oscuro y maligno, de tal forma que el hombre debe dominarla y controlarla.

La premisa cartesiana de: “Yo pienso, luego existo” envuelve una concepción del yo eurocéntrico, de pensadores oriundos de cinco países esencialmente: Alemania, Francia, Inglaterra, Estados Unidos e Italia. El trabajo académico de estos pensadores parece tener una superioridad en relación con el resto del mundo, es decir que el yo no puede ser un indígena, africano, mestizo, musulmán y, peor aún, el yo se despoja del género femenino porque se ostentan en la autoridad masculina patriarcal.

La violencia que se ejerce sobre pueblos y cuerpos de los seres humanos en procesos coloniales del capitalismo, como los que se presentan en Ucrania y Gaza, tienen prácticamente el mismo *modus operandi* de los 4 gran epistemicidios que denuncia Grosfoguel (2006) y que consistieron no solamente en un barbarie física, sino una pretensión directa de eliminar grandes sistemas de pensamiento, como el árabe, el indígena, el africano y la sabiduría popular de la mujeres que en los tribunales de la inquisición se denominaron *brujas*. La herencia colonial pretende violentamente arrasar otros sistemas de pensamiento, en nuestro caso, se ataca el pensamiento ancestral indígena, afrodescendiente y el pensamiento mestizo popular porque no se alinea con los intereses del capital.

La propia ciencia en sus orígenes fue perseguida por poderes basados en la cristiandad, hoy el negacionismo como ataque directo ejercido por poderosos del norte como gobernantes republicanos, tales como George Bush y Donald Trump atacan a la evidencia científica compilada por años de investigación frente al claro cambio climático generado por la actividad antrópica desde la Revolución Industrial e intensificado por el uso del petróleo como pilar central de la matriz energética capitalista.

Descolonizar la ciencia significa cuestionar la tesis de que este tipo de conocimiento es producto de la cultura occidental proveniente de Grecia y Roma. Es pensar que es una construcción cultural, ahora sí universal porque abarca los distintos sistemas de pensamiento del mundo, particularmente la cultura milenaria árabe, que aportó significativamente a

la ciencia en los campos de la química, la astronomía, las matemáticas y la medicina. Es cuestionar la concepción científicista que la ciencia occidental es superior a otros sistemas de pensamiento como los de los pueblos indígenas, es aceptar que la ciencia aprende, se potencializa a partir del diálogo de saberes y que debe seguir principios éticos de respeto a todas las formas de pensamiento. Por ejemplo, una buena parte del conocimiento científico existente sobre principios activos de las plantas estuvo presidido de un saber profundo de los pueblos indígenas acerca de los poderes curativos de ellas. El problema está en que la herencia colonial que se instala en el desarrollo científico de occidente pretende despojar de sentido estos saberes para mostrar los estudios de las ciencias como superiores porque se disfrazan de autoridad dada, entre otras cosas, por el método objetivo de la experimentación.

Para descolonizar la ciencia desde el ámbito pedagógico podemos retomar los aportes de Walsh (2013), quien realiza una lectura minuciosa de Paulo Freire, Frantz Fanon y Manuel Zapata Olivella para proponer una pedagogía para sentir, pensar, resistir, levantarse y actuar frente a todo tipo de injusticia social y ambiental. Se trata de reconstituir memorias de luchas y resistencias de los pueblos, por ejemplo, aquellas de las comunidades afro en el pacífico ecuatoriano, que se oponen al extractivismo de la palma o la lucha del pueblo u'wa en Colombia contra la explotación petrolera en territorios sagrados. Son muchos los casos de luchas locales, tanto rurales como urbanas, llevadas a cabo por mujeres, jóvenes, indígenas, afros y, en fin, por todos los seres humanos que sufren explotación, discriminación y segregación social en las lógicas dominantes del capital. También la Madre Tierra es víctima de explotación y, por lo tanto, se requiere su valorización y respeto profundo, a partir de procesos educativos basados en la ética y la justicia ambiental.

El gran ideario decolonial es retomado por varios autores representativos de la educación en ciencias y la educación ambiental, por ejemplo, Cassiani *et al.* (2023) proponen un amplio análisis teórico-metodológico

de esta perspectiva en estas áreas de interés y pueden constituir un valioso fundamento para el abordaje de las CSCA en la práctica docente. Esta perspectiva podemos resumirla ampliando las consideraciones expuestas por los autores citados, en cinco principios centrales para pensar la educación en ciencias y, por lo tanto, el abordaje de las CSCA en la enseñanza.

El primer principio hace alusión a reconocer y visibilizar los sistemas de pensamiento de los pueblos ancestrales, indígenas, afros, campesinos, jóvenes y mujeres que sufren procesos de exclusión y racismo. En él se busca rescatar sus saberes y aportes a la construcción de la ciencia.

El segundo consiste en descolonizar la ciencia en los espacios educativos formales y no formales, de tal manera que a través de un análisis histórico crítico se dé cuenta de procesos de dominación, exclusión y segregación en la propia ciencia, para abrir paso a una ciencia ética y comprometida con la humanización y el respeto a la naturaleza. La propuesta de ciencia ciudadana constituye una alternativa para trabajar colectivamente entre estudiantes, profesores, científicos y comunidades locales, de tal forma que el reconocimiento de los distintos saberes constituye un punto central en la producción de conocimiento científico, tal como es discutido por Morais (2022).

El tercer principio centra la atención en la reconstrucción de la identidad del profesor de ciencias y el educador ambiental, de tal forma que reflexionemos sobre nuestro desarrollo profesional en términos de buscar una articulación de este con saberes de las comunidades y los movimientos sociales, para contribuir con la construcción de sociedades justas e incluyentes.

Y el cuarto principio se relaciona con el anterior, pero exige una materialización concreta de estrategias y propuestas de enseñanza que articulen los saberes étnicos y ancestrales a las prácticas concretas que realizamos en espacios formales o informales.

El ideario decolonial como una propuesta que potencializa la perspectiva crítica en la educación en ciencias y la educación ambiental se inscribe en un horizonte más amplio de búsqueda de la transmodernidad. Es el proceso de superación de la visión eurocentrista de Occidente, es el encuentro en la otredad, es el florecimiento de la acción sociopolítica basada en las resistencias y alternativas construidas con las gestas de los indígenas, los(as) afrodescendientes, los(as) campesinos, los(as) científicos, los(as) educadores(as) y todos aquellos que converjan en la defensa de la Pachamama, de Aby Yala, de la Madre Tierra, porque es el momento de revertir el pasado para vivir el presente y soñar con el futuro fraterno, ético y solidario.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Fondo de Cultura Económica.
- Acevedo, J. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 5(2), 134-169.
- Adorno, T. (1972). Sobre la lógica de las ciencias sociales. En T. Adorno, T. K. Popper., R. Dahrendorf, J. Habermas, H. Albert y H. Pilot, *La disputa del positivismo en la sociología alemana* (pp. 121-138). Grijalbo.
- Adorno, T. y Horkheimer, M. (1985). *Dialéctica do esclarecimento*. Jorge Zahar Ed.
- Adorno, T. (1996). Teoria da semicultura. *Educação e Sociedade*, 7(56), 388-411.
- Achury, L., Pachón, D., Gómez, K., Osorio, N., Rios, C., Aristizábal, A., Rincón, L., Wilches, D., Herrera, M., Giraldo, C. y García, C. (2015). Articulación de cuestiones sociocientíficas al currículo escolar: aportes construidos a partir de la investigación-acción. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 35-59). Universidad Pedagógica Nacional.
- Alarcón, J. (2019). *El cambio climático en el territorio colombiano*. Editorial Universidad Distrital José Francisco Caldas.

- Archanjo, M. y Tormohlen, S. (2022). A tecnologia social no contexto da educação socioambiental crítica: uma ação educativa societária. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (51), 317-335.
- Baccin, B., Dutra, R. y Coutinho, E. (2020). A ciência enquanto um tema sociocientífico na formação inicial de professores de ciências biológicas. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 15(3), 426-443. <https://doi.org/10.14483/23464712.14821>
- Barbosa, M. L. C., Barbosa, R. K., Frasson, A. C., Cardozo, E. L. y Correa, G. M. (2018). Fundamentos históricos da educação e a relação com o trabalho nas diferentes organizações sociais, com uma abordagem CTS. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)* (n.º extra.), 1-6.
- Beltrán, J. y Martínez, L. (2014). Análisis de las estructuras argumentativas, construidas por estudiantes de educación media, sobre la cuestión local del uso del agua de los vallados de Cajicá. *Góndola, Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 9(1). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/7317>
- Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Adisson-Adisson-Wesley Iberoamericana, S. A.
- Bernal-Herrera, P., Cano-Iglesias, M. J., Franco-Mariscal, A. J. y Blanco-López, Á. (2023). Impacto de un debate sociocientífico en las habilidades argumentativas y en la toma de decisiones del profesorado de secundaria en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(3), 113-132. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5861>
- Bertomeu, J. y García, A. (2006). *La revolución química. Entre la historia y la memoria*. Universitat de València.
- Bloor, D. (1971). *Conocimiento e imaginario social*. Gedisa S. A.
- Boas, M., Dos Santos, B. y Mozzer, N. (2024). Uma Ferramenta para Orientar e Mapear Sequências Didáticas Fundamentadas em Questões Sociocientíficas. *ALEXANDRIA: R. Educ. Ci. Tec*, 17(2), 1-36. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2024.e96539>
- Boff, L. (2021). *O doloroso parto da mãe terra. Uma sociedade de fraternidade sem fronteiras e de amizade social*. Vozes.

- Bourdieu, P. (1990). *Sociología y cultura*. Grijalbo
- Bourdieu, P. (1994). El campo científico. *Redes: Revista de Estudios Sociales de la Ciencia*, 1(2), 129-160. <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/317>
- Boyle, R. (1985). *Robert Boyle: física, química y filosofía*. Alianza Editorial.
- Brito, L. y Araujo, M. (2020). Professores de biologia e conflitos socioambientais: formação continuada em SUAPE-PE. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 259-271. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p259>
- Brügger, P. (1999). *Educação ou adestramento ambiental?* (3.ª ed.). Letras Contemporâneas.
- Cassiani, S., Marín, Y. y Zuleta, M. (2023). Decolonizando a educação em ciências e sua pesquisa: provocações sobre processos teórico-metodológicos. En D. Santos, B. Monteiro, H. do Nascimento, M. Mejía, C. Sánchez y S. Cassiani, *Educação, ambiente, corpo & decolonialidade* (pp. 73-102). Editora Livraria da Física.
- Carrión, D. y Parga, D. (2015). Diseño curricular a partir de cuestiones sociocientíficas. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 109-140). Universidad Pedagógica Nacional.
- Carson, R. (1969). *Primavera silenciosa*. Melhoramentos.
- Casallas, E. y Martínez, L. (2021). El abordaje de cuestiones (CSC) en América Latina, una primera aproximación. En L. Martínez (comp.), *Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: experiencias investigativas e innovadoras* (pp. 19-34). Instituto Nacional de Investigación e Innovación Social.
- Chamizo, J. (2011). La imagen pública de la química. *Educación Química*, 22(4), 320-331. https://www.researchgate.net/publication/267942100_La_imagen_publica_de_la_quimica
- Compagnucci, R. (2011). Historia del cambio climático o calentamiento global. *Contribuciones Científicas GÆA*, 23(1), 13-19.
- Conrado, D. M. y Nunes-Neto, N. (2018). *Questões sociocientíficas. Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*. EDUFBA.

- Cox, C., Jara, C., Sánchez, M. y Peña, J. (2023). Asuntos controversiales en la formación para la ciudadanía: criterios y prácticas docentes en la educación media de Chile. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 60(2), 1-15. <https://doi.org/10.7764/PEL.60.2.2023.3>
- Cordeiro, C., Cruz, M. y Stedile, S. (2023). Uso de animais no ensino da medicina veterinária no Brasil: concepção por parte dos discentes e uso do direito de objeção de consciência. *Ciência & Educação*, 29. <https://doi.org/10.1590/1516-731320230040>
- Costa, R., Loureiro, R. y Sánchez, C. (2020). Da lama ao caos: uma proposta para a formação de professores na interface entre educação ambiental de base comunitária, cinema e mudança climática. *APEduC Revista/ APEduC Journal*, 1(1), 161-167.
- Constitución de la república del Ecuador. (20 de octubre de 2008). [R. O. N.º 449]. Lexis. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cubillos, G. (2003). *Introducción al pensamiento químico. De los átomos de Demócrito al carbono tetraédrico de Van't Hoff*. Unibiblos.
- Cubillos, G., Poveda, M. y Villaveces, J. (1989). *Hacia una historia epistemológica de la Química*. Editora Guadalupe.
- Crujeiras-Pérez, B., Martín-Gamez, C., Díaz-Moreno, N. y Fernández, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 125-142. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2888>
- De Carvalho, L., De Carvalho, W. y Júnior, J. (orgs.). (2019). *Educação científica em questão. A escola como produtora de cultura e sociedade*. Cultura Acadêmica.
- De Carvalho, L., Gonçalves, L. y Chapani, D. (2021). Sequências didáticas de caráter sociocientífico como espaço de pesquisa, formação e ensino na interface escola-universidade. *Ciência & Educação*, 27(e21022). <https://doi.org/10.1590/1516-731320210022>
- De Carvalho, T. y Lopes, N. (2021). Raças Humanas como uma Questão Sociocientífica (QSC): implicações na formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, 27(e21030). <https://doi.org/10.1590/1516-731320210030>

- Dos Santos, A. y Oliveira, S. (2013). Conhecimento, interesse e pesquisa educacional: um possível diálogo entre Bourdieu e Habermas. *Série-Estudos*, (35), 43-58.
- Dos Santos, L., Oliveira, A. y Dias, A. (2024). Articulação entre a Cinética Química e a Educação CTS na visão de licenciandos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (56), 153-169. <https://doi.org/10.17227/ted.num56-18036>
- Dussel, E. (1994). 1492. *El encubrimiento del Outro. Hacia el origen del "mito de la Modernidad"*. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación Universidad Mayor de San Andrés.
- Dussel, E. (2012). *Hipótesis para el estudio de Latino América en la historia universal. Obras selectas II*. Editorial Docencia.
- El Mundo (2005, 8 de julio). Bush dice que impulsará un acuerdo tras el Protocolo de Kioto porque no ha funcionado. *El Mundo*. <https://www.elmundo.es/el-mundo/2005/07/06/internacional/1120645843.html#:~:text=George%20W.%20Bush%2C%20presidente%20del%20pa%C3%ADs%20m%C3%A1s,EEUU%20y%20no%20funcion%C3%B3%20para%20el%20resto>
- Escobar, M., Morales, M. y Ruíz, M. (2015). Una experiencia educativa sobre la problemática ambiental del agua en los cerros orientales: reflexiones y aportes desde la escuela. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 61-80). Universidad Pedagógica Nacional.
- Esper, M., Bretal, E. y Fernández, A. (2024). ¿Revolución Industrial? Industrialización y desarrollo capitalista: una historia global. En M. Payo, E. Bretal y A. Fernández, *Pensar la historia social: una lectura del mundo desde la doble revolución burguesa hasta nuestros días* (pp. 50-67). Editorial de la Universidad Nacional de la Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/171508>
- Espinell, N. (2021). Semillas transgénicas en Colombia: aproximación a la incorporación de cuestiones sociocientíficas relacionadas con la biotecnología. En L. Martínez (comp.), *Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: experiencias investigativas e innovadoras* (pp. 69-92). Instituto Nacional de Investigación e Innovación Social.

- Fernández, O. (2003). Pierre Bourdieu: ¿agente o actor? *Tópicos del humanismo*, (90), 1-5. https://www.academia.edu/6937814/Pierre_Bourdieu_Agente_o_Actor
- Firme, R. N. y Silva, T. S. (2024). Análise de uma sequência de ensino-aprendizagem com abordagem ciência-tecnologia-sociedade à luz da pedagogia histórico-crítica. *Educación Química*, 35(1), 77-90. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.1.85297>
- Freire, P. y Nogueira A. (2001). Alfabetização em ciências En A. Freire, *Pedagogia dos sonhos possíveis* (pp. 185-192). Editora Unesp.
- Freire, P. (2018). *Pedagogia do oprimido (O Manuscrito)*. Editora e Livraria Instituto Paulo Freire: Universidade Nove de Julho (Uninove): Big Time Editora/ Acadêmica.
- Freire, P. (1989). *A importância do ato de ler: em três artigos que se completam* (23.ª ed.). Autores Associados: Cortez.
- Freire, P. (2002). *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa*. (22.ª ed.). Paz e Terra.
- Gallego, A. y Gallego, R. (2009). *El cambio climático. La catástrofe que nos acecha*. Comunicación visual.
- García-Carmona, A., Vázquez, A. y Manassero, M. (2012). Comprensión de los estudiantes sobre naturaleza de la ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 23-34.
- García-Ruiz, M., Maciel Magaña, S. y Rayas Prince, J. G. R. S. (2023). Actitudes ambientales favorables para fomentar un consumo sustentable en el futuro profesorado de primaria a través de temáticas socioambientales. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (53), 181-198. <https://doi.org/10.17227/ted.num53-14357>
- Gago, R. (1982). Introducción. En A. Lavoisier, *Tratado elemental de Química* (pp. XIII-LXVIII). Ediciones Alfaguara.
- Galano et al. (2002). Manifiesto por la vida. Por una ética para la sustentabilidad. *Ambiente & Sociedade*, 5(10), 1-14. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2002000100012>

- García-Ruiz, M., Gutierrez, V., Rayas, J. y Vazquez, A. (2020). Los efectos de la temática socioambiental en las habilidades de pensamiento crítico del futuro profesorado de primaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (48), 75-90. <https://doi.org/10.17227/ted.num48-12382>
- García-Ruiz, M., Maciel Magaña, S. y Rayas Prince, J. (2023). Actitudes ambientales favorables para fomentar un consumo sustentable en el futuro profesorado de primaria a través de temáticas socioambientales. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (53), 181-198. <https://doi.org/10.17227/ted.num53-14357>
- García, E., González, D., Solarte, C., Caviedes, G., Grajales, Y. y Orjuela, V. (2022). *Conocimiento científico y educación ambiental para la formación de profesores*. Universidad del Valle.
- García, H. (2003). *El investigador del fuego. Antoine I. Lavoisier*. Colciencias-Alfaomega.
- Genovese, C., Carvalho, W. y Genovese, L. (2019). Os conceitos de formação e semiformação de Adorno na análise de trabalhos de conclusão de curso sobre questões sociocientíficas na graduação em Pedagogia. *Ciência & Educação*, 25(4), 873-891. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190040003>
- Guerrero, G., Rojas-Avilez, L., González-Weil, C., Ibaceta-Guerra, N., Martínez, L., Rosas-Pari, L. (2024). Science Education for Students' Critical Scientific and Environmental Literacies: Experiences from Latin America. En A. Marzabal y C. Merino (eds.), *Rethinking Science Education in Latin America. Diversity and Equity for Latin American Students in Science Education* (pp. 23-42). Springer.
- Gómez, S. (s. f.). *La academia del cemento. Seminario «Orotava» de Historia de la Ciencia, año XI-XII*. [Archivo PDF]. https://fundacionorotava.org/media/web/publication_files/publication29__19.pdf
- Gonçalves, A. y Prudêncio, C. (2023). A abordagem CTS nos cursos de formação inicial de professores de Ciências no Brasil: um estudo de revisão em quatro bancos de dados digitais. *Indagatio Didactica*, 15(3), 257-275. <https://doi.org/10.34624/id.v15i3.31152>

- Gonzalez-Hernandez, I., Armas-Álvarez, B., Coronel-Lazcano, M., Vergara-Martínez, O., Maldonado-López, N. y Granillo-Macias, R. (2021). El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 8(16), 41-52. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/issue/archive>
- Gudynas, E. (2014). *Derechos de la naturaleza y políticas ambientales*. Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Grosfoguel, R. (2023). Hay que descolonizar la historia de la ciencia de principio a fin”. Entrevista a Ramón Grosfoguel. *Ciencia, Tecnología y Política*, 6(10), 1-16. <https://revistas.unlp.edu.ar/CTyP/article/view/15056/14137>
- Grosfoguel, R. (2006). La descolonización de la economía política y los estudios postcoloniales: transmodernidad, pensamiento fronterizo y colonialidad global. *Tabula Rasa*, (4), 17-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39600402>
- Habermas, J. (1987). *Conhecimento e interesse*. Guanabara.
- Habermas, J. (2006). *Técnica e Ciência como “ideologia”*. Edições 70.
- Hambleton, I., Caixeta, R., Jeyaseelan, S., Luciani, S. y Hennis, A. (2023). The rising burden of non-communicable diseases in the Americas and the impact of population aging: a secondary analysis of available data. *The lancet Regional Health Americas*, 21. [https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X\(23\)00057-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X(23)00057-1/fulltext)
- Horkheimer, M. y Adorno, T. (1998). *Dialéctica de la Ilustración. Fragmentos filosóficos*. Editorial Trotta.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1992). *Cambio climático: las evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992*. PNUMA-OMM.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023. Synthesis Report*. www.ipcc.ch
- Iribarren, L., Guerrero, K., Garelli, F. y Dumrauf, A. (2022). Pedagogías del conflicto ambiental: aportes desde una experiencia participativa de formación docente en un territorio en disputa. *Praxis Educativa (Arg)*, 26(1), 1-24.

- Iribarren, L., Guerrero, K., Garelli, F. y Dumrauf, A. (2023). ¿Que nos cuenta Pachamama? Una experiencia de diálogo de saberes, vivires y formación docente descolonizadora en educación ambiental. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (53), 239-255. <https://doi.org/10.17227/ted.num53-14919>
- Joaquín, L. (2021). La educación del siglo XXI en tiempos de pandemia. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 32(62), 1-21. <https://doi.org/10.33255/3262/977>
- Jiménez, C., Lozano, A. y Puello-Socarrás, J. (2023). El conocimiento: ¿recurso de uso compartido o bien común de la humanidad? En C. Jiménez, J. Puello-Socarrás y A. Lozano (eds.), *COMÚNiversidad Críticas al modelo de evaluación científica y ciencia abierta universitario y propuestas para sus reformas* (pp. 19-49). Universidad Nacional de Colombia.
- Kist, D. y München, S. (2024). A prática docente e a educação: reflexões a partir do temas agrotóxicos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (55), 12-28. <https://doi.org/10.17227/ted.num55-19012>
- Knorr-Cetina, K. (1996). ¿Comunidades científicas o arenas transepistémicas de investigación? Una crítica de los modelos cuasi-económicos de la ciencia. *REDES*, 3(7), 129-160. doi: <https://doi.org/10.48160/18517072re7.791>
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Lamin-Guedes, V. (2017). Alfabetização científica, contextualização e metodologias ativas no ensino de ciências e educação ambiental. *Ensino, Saúde e Ambiente*, 10(1), 238-256. <https://periodicos.uff.br/ensinosaudeambiente/article/view/21259>
- Lavilla, P. (2019). El polémico uso del DDT. *MOLEQLA*, (33), 25-28. <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero33/33.pdf>
- Lavoisier, A. (1982). *Tratado elemental de Química*. Ediciones Alfaguara.
- Latingua, I. (24 de diciembre de 2006). La OMS recupera el DDT para combatir la malaria. *El Mundo*. <https://www.elmundo.es/elmundosalud/2006/09/18/biociencia/1158595760.html>
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Alianza Editorial.

- Lenharo, A., Gimenez, G., Dias, J., Carnio, M., Lopes, N., Rinaldo, R., Mendonça, T., y Barros, W. A. (2015). Construção coletiva e comunicativa de uma questão sociocientífica por um grupo de professores em um Pequeno Grupo de Pesquisa. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 169-197). Universidad Pedagógica Nacional.
- Leakey, R. y Lewin, R. (1997). *La sexta extinción. El futuro de la vida y la humanidad*. Tusquets.
- Leff, E. (2025). Devenir de la vida y la trascendencia histórica. Las vías abiertas del diálogo de saberes. En E. Leff (coord.), *Diálogos de saberes. La transición histórica hacia la sustentabilidad de la vida* (pp. 65-94). Clacso.
- Leff, E. (2021). Racionalidad y justicia ambiental: la elusiva injusticia de la vida. *HALAC-Historia Ambiental, Latinoamericana y Caribeña*, 11(3), 19-38 <http://halacsolcha.org/index.php/halac>
- Leff, E. (2019). *Ecología política: de la deconstrucción del capital a la territorialización de la vida*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental*. Siglo XXI Editores.
- Lencina, R., Oliván, A. y Castiglia, G. (2020). Ciencia y educación en el siglo XXI: reflexiones sobre instituciones modernas en contextos posmodernos. *Revista de estudios sociales de la ciencia y la tecnología REDES*, (51), 1-34. <https://doi.org/10.48160/18517072re51.25>
- Li, Y. y Guo, M. (2021). Scientific Literacy in Communicating Science and Socio-Scientific Issues: Prospects and Challenges. *Front. Psychol*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.758000>
- Luz, R. y Prudêncio, C. (2024). Quando a Educação Ambiental e a Educação CTS se encontram: Aspectos Centrais de uma Articulação Crítica. *ALEXANDRIA: R. Educ. Ci. Tec.* 17(1), 1-34. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2024.e93938>
- Luz, R., Almeida, E. S. y Almeida, R. O. (2020). Educação Ambiental e Educação CTS numa perspectiva freireana: a necessária superação da contradição entre conservação e desenvolvimento. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(3),162-189. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1873/pdf>

- Luz, R., Almeida, E., Nascimento, E. y Prudêncio, C. (2019). Professores de Química em Formação Inicial: o que pensam e dizem sobre as relações entre Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e Sociedade. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, (19), 537-563. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u537563>
- Maia, J. y Mendes, C. (2022). *Pesquisas em Educação Ambiental Crítica*. Cultura Acadêmica.
- Machado, D. y Razera, J. (2021). Um perfil da interface entre sensibilidade moral e compreensão de natureza da ciência durante a resolução de questões socio-científicas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 26(1), 226-243. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n1p226>
- Maciel, F. (2014). Proposta de Paulo Freire para a alfabetização. En I. Frade, M. Val y M. Bregunci (orgs.), *Glossário Ceale: termos de alfabetização, leitura e escrita para educadores*. UFMG. <https://www.ceale.fae.ufmg.br/glossarioceale/verbetes/proposta-de-paulo-freire-para-a-alfabetizacao>
- McIntyre, S. y McKittrick, R. (2005). Hockey sticks, principal components, and spurious significance. *Geophysical Research Letters*, 32, 1-5. <https://doi.org/10.1029/2004GL021750>
- Marco-Stiefel, B. (2000). La alfabetización científica. En F. Perales y P. Cañal, *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 141-164). Marfil.
- Mann, M., Bradley R. y Hughes, M. (1998). Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries. *Nature*, 392(23), 779-787.
- Marandino, M. y Dantas, E. (2023). Esquentando o debate: análise de temas sociocientíficos controversos selecionados por licenciandos em visitas a museus. *Educação e Pesquisa*, 49(e250644), 1-26. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202349250644>
- Maldonado, C. (2024). Crisis climática, crisis civilizatoria y la emergencia de la nueva civilización. En J. Giraldo (ed.), *¿Cambio climático o crisis civilizatoria?* (2.ª ed., pp. 113-159). Asociación de profesores de la Universidad Nacional de Colombia.

- Martínez, L. (2024a). Abordaje de cuestiones sociocientíficas para la sustentabilidad ambiental. En D. Parga, P. Zapata y R. Tuay (eds.), *Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades* (pp. 308-324). Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez, L. (2024b). Formación de profesores de química en cuanto investigadores de su práctica: aportes del profesor Otavio Maldaner. En E. Boff, L. Zanon, M. de Araújo y M. Frison, *Festschrift em homenagem a Otavio Aloisio Maldaner. Uma Trajetória de Amizade e produção coletiva de conhecimentos* (pp. 81-94). Editora Unijui.
- Martínez, L. (2023). *Universidad pública en tiempos de pandemia: desafíos y luchas*. Universidad Pedagógica Nacional-Universidad del Tolima.
- Martínez, L. (2022). Educación en ciencia, tecnología, sociedad y ambiente: historia y desafíos actuales para la formación ciudadana. En I. Garzón y L. Martínez (eds.), *Trayectorias y aportes pedagógicos de la educación en ciencias* (pp. 11-32). Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez, L. (2021). Abordaje de la covid-19 como cuestión sociocientífica. En E. T. de Oliveira Boff, J. Perkoski Dumke, M. C. Pansera-de-Araújo, P. E. Fensterseifer, R. Souza de Vargas y S. Pithan da Silva (orgs.), *Educação, ciência e cientificismo: desafios do mundo contemporâneo* (pp. 75-85). Ed. Unijuí.
- Martínez, L. (2012). *Questões sociocientíficas na prática docente: ideologia, autonomia e formação de professores*. Editora Unesp.
- Martínez, L. y Parga, D. (2013). *Discurso ético y ambiental sobre cuestiones sociocientíficas: aportes a la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez, L., Lerma, M., Valencia, F. y Chaparro, C. (2007). Una alternativa para la enseñanza de las ciencias naturales: el caso de Altos de Cazucá. *Nodos y Nudos*, 3(22), 55-68.
- Martínez, L. y Parga, D. (2014). *Formación permanente de profesores en la interfaz universidad-escuela: currículo, fundamentos y roles. Una experiencia en construcción*. Universidad Pedagógica Nacional.

- Martínez, L., Parga, D. y Garzón, I. (2015). *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez, L. y Suárez, A. (2024a). Enseñanza de las ciencias a partir de la investigación temática. *Caminhos da Educação Matemática em Revista*, 14(2), 64-77. https://periodicos.ifs.edu.br/periodicos/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/1669
- Martínez, L. y Suárez, A. (2024b). Enseñanza de las ciencias y Paulo Freire. En P. Ortega y A. Torres (eds.), *Paulo Freire. Sus obras, las educaciones y las pedagogías emancipadoras en el siglo XXI* (pp. 209-229). Univeresidad Pedagógica Nacional.
- Martins, R. (1989). Tratados físicos de Blaise Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1(3), 1-168.
- Meadows, D., Randers, J. y Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento. Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Medina, E. (1983). La polémica internalismo/externalismo. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 23, 53-76.
- Melo, P., Conrado, D. y Nunes-Neto, N. (2024). Aproximando pedagogia libertadora, educação CTSA crítica e ensino por QSC para ações sociopolíticas e socioambientais. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 17, 1-27. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2024.e93732>
- Mendoça, P. y Vargas, I. (2022). Práticas epistêmicas e abordagem QSC com o foco no ensino explícito de ética e moral. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(2), 294-311. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p294>
- Merton, R. (1977). *La sociología de la ciencia*, 2 *Investigaciones teóricas y empíricas*. Alianza Editorial.
- Miller, J. D. (1983). Scientific Literacy: A conceptual and empirical review. *Daedalus*, 112(2), 29-48.

- Mora, W. (2012). Educación en ciencias y educación ambiental: necesidad de una relación mutuamente beneficiosa. *Revista EDUCyT, extraordinario*. https://www.researchgate.net/publication/280093143_EDUCACION_EN_CIENCIAS_Y_EDUCACION_AMBIENTAL_NECESIDAD_DE_UNA_RELACION_MUTUAMENTE_BENEFICIOSA
- Morais, C. (2022). Ciência cidadã e educação CTS/CTSA: perspectivando contributos, desafios e oportunidades. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 17(51), 157-178. <https://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/324>
- Moreno-Fernández, O. (2020). Problemas socioambientales y educación ambiental. El cambio climático desde la perspectiva de los futuros maestros de educación primaria. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 57(2), 1-15. <https://doi.org/10.7764/PEL.57.2.2020.3>
- Moreno, S. D. y Martínez, F. L. (2022). Educación ambiental crítica freireana: Análisis de corrientes y aportes para la formación de profesores. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (52), 47-64. <https://doi.org/10.17227/ted.num52-16501>
- Morin, E. (2002). *O problema epistemológico da complexidade*. Publicações Europa-América, LDA.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial. Por un plan de rescate para las personas y el planeta*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/inequality/>
- Nepote, J. (2011). *Científicos en el ring: luchas, pleitos y peleas en la ciencia*. Siglo XXI. Editores.
- Ortegón, J., González, T., Chiquiza, N., Martínez, L., Arias, X. y Suárez, A. (2020). *Secuencia de enseñanza sobre covid-19: un abordaje sociocientífico*. <https://www.amazon.com/-/es/Leonardo-Fabio-Mart%C3%ADnez-P%C3%A9rez-ebook/dp/zB09N3RF3NG>
- Pacheco, L. y Muenchen, C. (2024). A construção de projetos por educandos do Ensino Médio: uma possibilidade para a Educação CTS. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 19(1), 165-178. <https://doi.org/10.14483/23464712.20285>

- Pedretti, E. y Nazir, J. (2011). Currents in STSE Education: Mapping a Complex Field, 40 Years On. *Science Education*, 95(4), 601-626. <https://doi.org/10.1002/sce.20435>
- Pérez, E. (2001). La invisibilidad y el techo de cristal. *Meridiam*, (21), 18-20.
- Pérez, E. (2009). *Las mujeres en la historia de la ciencia*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/9700/1/LAS%20MUJERES%20EN%20LA%20HISTORIA%20DE%20LA%20CIENCIA.pdf>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z. y Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental science & technology*, 56(3), 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Pellón, I. (2002). *Un químico ilustrado. Lavoisier*. Nivola Libros y Ediciones, S. L.
- Porras, Y. y Pérez, R. (2022). Representaciones sociales del cambio climático en futuros profesores de Ciencias: una mirada desde la perspectiva freireana. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (52), 83-100. <https://doi.org/10.17227/ted.num52-16470>
- Roa, T. (2014). Época de resistencias al extractivismo. En T. Roa y L. Navas, *Extractivismo, conflictos y resistencias* (pp. 39-72). Amigos de la Tierra Colombia.
- Roa, T. y Navas, L. (coords.). (2014). *Extractivismo, conflictos y resistencias*. Amigos de la Tierra Colombia.
- Rech, M. (2017). *As raízes da crise ambiental: uma leitura a partir da dialética do esclarecimento* [tesis de maestría, programa de posgrado académico en Derecho]. Universidade de Caixias do Sul.
- Rendón, M. y Martínez, L. (2016). Enseñanza de las Ciencias a partir de una Perspectiva Freireana. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19(2), 241-257. <http://dx.doi.org/10.6018/reifop.19.2.256481>
- Revel, A. (2024). Diabetes tipo II en poblaciones vulnerables: reflexiones en torno al rol del Estado y la formación docente. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 24, 1-16. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2024u195210>

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U. [...]. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rodríguez, B. y Martínez, L. (2015). ¿Las sustancias psicoactivas de debaten o combaten en la escuela? “Controversia por la legalidad/ilegalidad”: una experiencia de formación de docentes en la interfaz universidad-escuela. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 81-107). Universidad Pedagógica Nacional.
- Rodríguez, M. (1997). *Hacia una didáctica crítica*. Editorial la Muralla.
- Rozo, O., Huertas, L., Baquero, L., de la Espriella, C., Barragán, J., Alayón, R., Gómez, B. y Arias, J. (2020). Un colectivo de profesores en formación como investigadores, desde el abordaje del cambio climático. *Nodos y Nudos*, 6(47).
- Santos, E. (3-8 de noviembre de 2000) *Educação ambiental e ensino de ciências: a transversalidade e a mudança de paradigma*. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, Brasil.
- Sasseron, L. y Carvalho, A. (2011). Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(1), 59-77.
- Sauerbier, J., Viecheneski, J. y Silveira, R. (2021). Núcleo de estudos docentes com enfoque ciência, tecnologia e sociedade na educação infantil: contribuições e perspectivas *Investigações em Ensino de Ciências*, 26(2), 349-377. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n2p349>
- Silva, F. F., Carvalho, G. W., Souza, J. A. y Suart, R. C. (2018). Investigación da perspectiva CTSA na escrita científica de licenciandos de química mediante aplicação da metodologia de estudo de casos. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)* (n.º extra.). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/9129/6852>

- Silva, E., Franco, L. y Mendonça, P. (2024). Ensino de Ciências por Investigação e Questões Sociocientíficas em Sala de Aula: Conexões a Partir da Análise de Práticas Epistêmicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 24, 1-29.
- Simonneaux, L. (2014). *Questions socialement vives and socioscientific issues: new trends of research to meet the training needs of postmodern society*. En *Topics and Trends in Current Science Education* (pp. 37-54). Springer.
- Siquiera, J. y Junior, M. (2021). *Ensino de ciências e educação ambiental: enfoques, contextos e práticas*. Editora Innovar.
- Shinn, T. y Ragouet, P. (2008). *Controvérsias sobre a ciência. Por uma sociologia transversalista da atividade científica*. Editora 34.
- Soon, W. y Baliunas, S. (2003). *Lessons & Limits of Climate History: Was the 20th Century Climate Unusual?* The George C. Marshall Institute.
- Storch, H., Zorita, W., Jones, J., Dimitriev, Y., González-Rouco, F. y Tett, S. (2004). Reconstructing Past Climate from Noisy Data. *Science*, 10, 1126/.1096109. <https://www.researchgate.net/publication/8256870>
- Teixeira, P. (2003). A educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do Movimento CTS no ensino de ciências. *Ciência & Educação*, 9(2), 77-190.
- Torres, N. y Solbes, J. (2018). Pensamiento crítico desde cuestiones socio-científicas. En D. Conrado y N. Nunes-Neto (orgs.), *Questões sociocientíficas. Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas* (pp. 59-76). EDUFBA.
- Torres Merchán, N., Pedreros Benavides, E. y Valderrama, D. (2023). Abordaje de cuestiones socio-científicas en Colombia: una revisión sistemática 2010-2020. *Zona Proxima*, (39), 5-33. <https://doi.org/10.14482/zp.39.611.456>
- Varela-Losada, M., Arias-Correa, A. y Marcote, P. V. (2019). Educar para a mudança e a sustentabilidade: Avaliação de uma proposta de aprendizagem experiencial para capacitar os professores em formação inicial. *Revista Portuguesa de Educação*, 32(2), 57-73. <https://doi.org/10.21814/rpe.15303>

- Valladares, L. (2022). Pedagogías del riesgo: alfabetización científica en tiempos de pandemia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1301
- Waksman, M. (2005). El papel de la mujer en la ciencia. *Ciencia UANL*, 8(1), 3-6. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40280101.pdf>
- Walsh, C. (2013). *Pedagogías decoloniales: prácticas insurgentes de resistir, (re)existir y (re)vivir*. Tomo I. Ediciones Abya-Yala.
- Wojtkowak, B. (1987). *Historia de la química. De la Antigüedad a 1950*. Acribia.
- Zapata, P. (2014). El papel de la investigación en el contexto del proyecto sobre formación de profesores en la interfaz universidad-escuela. En L. Martínez y D. Parga (eds.), *Formación permanente de profesores en la interfaz universidad-escuela: currículo, fundamentos y roles. Una experiencia en construcción* (pp. 73-89). Universidad Pedagógica Nacional.
- Zecchini, F. (2005) *A mudança do clima global. O efeito estufa e a diminuição da camada de ozônio*. INCA.
- Zeidler, D., Herman, B. y Sadler, T. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7>

Autor

Leonardo Fabio Martínez Pérez

Doctor en Educación en Ciencias por la Universidade Estadual Paulista, de Brasil. Licenciado en Química y magíster en Docencia de la Química, de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (UPN). Fue rector de la Universidad Pedagógica Nacional, presidente del Capítulo Distrito Capital del Sistema Universitario Estatal (SUE) y vicepresidente de este sistema a nivel nacional entre 2018 y 2022. Ejerció como decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPN entre 2016 y 2018 y fungió como coordinador del programa de Licenciatura en Química en 2012 y coordinador de investigación entre 2004 y 2007 de la misma institución.

Profesor de planta del Departamento de Química de la UPN. Fundador del grupo de investigación Alternativas para la Enseñanza de las Ciencias, Categoría A de Minciencias. Actualmente, es investigador sénior. Actúa como docente e investigador de los programas Licenciatura en Ciencias Naturales y educación ambiental, Licenciatura en Química, Maestría en Docencia de la Química y del Doctorado Interinstitucional en Educación de la UPN. Fue editor de la revista *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)* de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPN. Tiene experiencia y

publicaciones nacionales e internacionales en el área de la enseñanza de las ciencias en los temas de educación, ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), formación de profesores, cuestiones sociocientíficas y ambientales, la argumentación y la epistemología de las ciencias. También cuenta con producción académica en el campo de la pedagogía crítica y la gestión educativa.

Abordaje de cuestiones sociocientíficas y ambientales en la práctica docente.
Desafíos y acciones frente a la crisis climática,
editado por la Universidad Pedagógica Nacional,
fue compuesto en caracteres de la fuente y familia Minion Pro
y se imprimió en los talleres de Carvajal Soluciones de Comunicaciones S. A. S.

Bogotá, Colombia, 2026

En esta obra se esboza una propuesta crítica e innovadora para la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental fundamentada en el abordaje de controversias sociocientíficas y ambientales en la práctica docente. A partir de una sistemática investigación documental, se ofrecen amplios análisis históricos, filosóficos, sociológicos y didácticos sobre disputas y luchas por el reconocimiento y la autoridad científica. Se ofrece un panorama actual de la investigación didáctica de este abordaje en Iberoamérica, apuntando avances y desafíos para la formación de profesores de ciencias. Se analiza la crisis climática como una compleja problemática civilizatoria de la cultura occidental y se propone el desarrollo de la acción sociopolítica basada en las resistencias y alternativas construidas con las gestas de las comunidades y todos aquellos que converjan en la defensa de la madre tierra, porque es el momento de revertir el pasado para vivir el presente y soñar con un futuro fraterno, ético y solidario.

Colección Perspectivas Didácticas



Química



Biología



Física



Ciencias Naturales



Ciencias Sociales



Ciencias del Lenguaje

Colección Perspectivas Didácticas



ISBN 978-628-7851-76-4

9 786287 851764