



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Educación para el cambio climático desde una perspectiva de aprendizaje significativo
crítico**

Viviana Patricia Obando Melo

Tesis doctoral presentada para optar al título de Doctor en Educación

Tutoras

Sonia Yaneth López Ríos, Doctor (PhD) en Enseñanza de las ciencias

María Mercedes Jiménez Narváez, Doctor (PhD) en Educación

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Doctorado en Educación

Medellín, Antioquia, Colombia

2026

Cita	(Obando Melo, 206)
Referencia	Obando Melo. V. P. (2026). <i>Educación para el cambio climático desde una perspectiva de aprendizaje significativo crítico</i> [Tesis doctoral]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Doctorado en Educación , Cohorte XIX.

Grupo de Investigación. Perspectivas de Investigación en Educación en Ciencias

Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas (CIEP).

Centro de Documentación Educación

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis hijas María José y Luciana, mis compañeras incansables, mi inspiración día a día, mi regalo de Dios.

A mis padres amorosos Teresa y Antonio, por motivarme a cumplir mis sueños y acompañarme en el camino.

A mis hermanos Sandra, Edison y Ximena, mis compañeros de vida, de risas, de historias.

A mi esposo Julián, por creer en mí.

Agradecimientos

A la doctora Sonia Yaneth López Ríos, gracias por su acompañamiento, por su colaboración, paciencia, orientación, por su apoyo permanente tanto en lo académico como en lo personal en el desarrollo de la tesis. Le doy gracias a Dios por haberla puesto en mi camino.

A la doctora María Mercedes Jiménez Narváez por su orientación y atención en el proceso de investigación, por su amabilidad, cariño y apoyo.

A los profesores Hugo Leonel y Ana Sabina, por su acogedor recibimiento y sus orientaciones en la pasantía doctoral en la Universidad de Nariño.

A mis estudiantes del grado 7.3 (2023), de la IE la Paz, por su disposición y voluntad para desarrollar esta investigación.

A la rectora Doris Omaira Sánchez por su impulso para dar el paso.

A Sair, Jose y Rebeca, mi familia escogida.

A mi familia por estar siempre ahí.

Tabla de contenido

Resumen	15
Abstract	16
Introducción.....	17
Estructura de las memorias de la tesis doctoral	18
Capítulo 1. Planteamiento del problema	20
1.1 Pregunta de investigación principal	28
1.2 Objetivos.....	28
1.2.1 Objetivo general.....	28
1.2.2 Objetivos específicos.....	29
Capítulo 2. Marco conceptual.....	30
2.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel.....	30
2.1.1 El rol del conocimiento previo.....	33
2.1.2 Condiciones para que ocurra el Aprendizaje Significativo	36
2.1.3 Organizadores previos.....	37
2.1.4 Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas: facilitadoras de aprendizaje.....	38
2.2 Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.....	40
2.2.1 Principios facilitadores del Aprendizaje Significativo Crítico	41
2.3 El cambio climático.....	44
2.3.1 Causas y evidencias del cambio climático en Colombia, Antioquia y Envigado	47
2.4 Educación para el cambio climático:.....	48
2.4.1 Referentes histórico- institucional del Cambio Climático.....	50
2.4.2 Política pública Nacional de cambio climático en Colombia.....	55
2.4.3 Educación ambiental o educación científica ¿Dónde se encuentra la educación para el cambio climático?.....	56

2.5 Articulación teórica entre el aprendizaje significativo crítico y la educación para el cambio climático.....	59
2.5.1 Desafíos y limitaciones entre el aprendizaje significativo crítico y la educación para el cambio climático	60
Capítulo 3. Metodología.....	63
3.1 Marco teórico de la Investigación Basada en Diseño	64
3.1.1 Características de la IBD	65
3.2 Diseño de la investigación	67
3.3 Matriz metodológica de la investigación.....	69
3.4 Técnicas de recolección de la información.....	72
3.4.1 Metodología PRISMA para revisión sistemática de literatura	72
3.4.2 Observación participante	72
3.4.3 Revisión documental	73
3.5 Técnicas de análisis de datos	73
3.5.1 Análisis de contenido	73
3.5.2 Codificación y variables emergentes.....	75
3.6 Criterios de calidad de estudios de diseño.....	76
3.6.1. Calidad del análisis y de los datos	76
3.6.2. Transferibilidad del conocimiento	77
3.6.3. Impacto práctico.....	78
3.7 Desarrollo de la IBD por fases.....	78
3.7.1 Fase 1 IBD: Revisión Sistemática de Literatura (RSL)	78
3.7.2 Fase 2 IBD. Prototipo de la UEPS: ECC desde una perspectiva crítica	80
3.7.3 Fase 3 IBD: Ciclos iterativos.....	83
3.7.4 Fase 4: Análisis retrospectivo	91
Capítulo 4. Resultados y discusión	92

4.1 Fase 1: Revisión Sistemática de Literatura.....	93
4.1.1 Elementos de la ECC para el diseño de la UEPS.....	95
4.1.2 Aprendizaje Significativo Crítico en la enseñanza de las ciencias	113
4.2 Fase 2 IBD: Diseño de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica.	129
4.2.1 Articulación de los contenidos de CC con estándares de competencias y DBA para grado séptimo.....	130
4.2.2 Enlace de los contenidos del Cambio Climático a los requisitos de la UEPS...	132
4.2.3 Articulación de la UEPS a los principios de ASC	134
4.2.4 Prototipo de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica.....	138
4.3 Fase 3 IBD: Ciclos iterativos.....	139
4.3.1 Ciclo iterativo 1: validación de la UEPS por expertos.....	140
4.3.2 Ciclo iterativo 2: implementación de la UEPS en el aula	155
4.4 Fase 4 IBD: Análisis retrospectivo.....	196
4.4.1 Análisis retrospectivo del Diseño	196
4.4.2. Análisis retrospectivo de los indicios de aprendizaje a la luz de los principios del Aprendizaje Significativo Crítico.....	200
4.4.3 Análisis retrospectivo final: los principios de ASC y el diseño de la UEPS.....	213
4.4.4 Ajustes sugeridos al diseño.....	215
Capítulo 5. Conclusiones.....	217
5.1 ¿Cuáles son los elementos conceptuales y disciplinares fundamentales para la ECC que aporta la revisión sistemática de literatura?	217
5.2 ¿Cuáles son las contribuciones teóricas y metodológicas que la revisión de literatura sobre ASC ofrece para el diseño de la UEPS sobre cambio climático?.....	218
5.3 ¿Cuál es el papel de los principios de la TASC y su articulación en el diseño de la UEPS sobre cambio climático?.....	220
5.4 ¿Cuáles fueron los principales indicios de ASC en los participantes a partir de la implementación de la UEPS sobre cambio climático	221
5.5 Aportes a la educación en ciencias naturales y educación ambiental	224

5.5.1 Aportes teóricos	224
5.5.2 Aportes metodológicos.....	224
5.5.3 Aportes prácticos.....	225
5.6 Limitaciones.....	226
5.7 Líneas de investigación futuras.....	226
Referencias	228

Anexos

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Marco histórico-institucional del cambio climático</i>	50
Tabla 2. <i>Objetivos de aprendizaje para el ODS 13 "Acción por el clima" (UNESCO, 2017)</i>	53
Tabla 3. <i>Matriz metodológica de la investigación</i>	70
Tabla 4. <i>Equipo de pares expertos para validación de la UESP</i>	83
Tabla 5. <i>Instrumento de validación de la UEPS de Educación para el Cambio Climático desde una perspectiva crítica</i>	84
Tabla 6. <i>Revisión de literatura en revistas internacionales y nacionales</i>	93
Tabla 7. <i>Criterios de inclusión y exclusión para la revisión de literatura de ECC</i>	95
Tabla 8. <i>Resultados obtenidos de cada base de datos</i>	95
Tabla 9. <i>Contenidos asociados al sistema climático y sus cambios en la Educación para el Cambio Climático</i>	99
Tabla 10. <i>Contenidos asociados a las causas en la Educación para el Cambio Climático</i>	102
Tabla 11. <i>Contenidos asociados a las consecuencias del CC</i>	104
Tabla 12. <i>Contenidos asociados a la adaptación y mitigación en la Educación para el Cambio Climático</i>	107
Tabla 13. <i>Estrategias y recursos educativos reportados en la revisión de literatura sobre ECC</i>	110
Tabla 14. <i>Criterios de inclusión y exclusión para revisión sistemática de literatura de ASC</i>	113
Tabla 15. <i>Documentos de ASC en la búsqueda primaria de las bases de datos</i>	114
Tabla 16. <i>Países y publicaciones de ASC</i>	116
Tabla 17. <i>Principales hallazgos de la revisión de literatura de ASC</i>	117
Tabla 18. <i>Articulación de Estándares de competencias básicas, Derechos Básicos de Aprendizaje y conceptos conectados con la enseñanza del cambio climático en el grado séptimo</i>	131
Tabla 19. <i>Articulación de los requisitos de la UEPS con los criterios de distribución conceptual y la propuesta para implementación en el aula</i>	132

Tabla 20. <i>Prototipo inicial de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica y reflexiva</i>	138
Tabla 21. <i>Rediseño del prototipo de la UEPS sobre Educación para el cambio climático desde una perspectiva crítica</i>	143
Tabla 22. <i>Concepciones sobre tiempo atmosférico y clima</i>	148
Tabla 23. <i>Concepciones sobre el efecto invernadero y GEI</i>	149
Tabla 24. <i>Concepciones sobre balance del clima: ciclo del carbono</i>	150
Tabla 25. <i>Concepciones sobre causas antropogénicas</i>	151
Tabla 26. <i>Concepciones sobre consecuencias del CC</i>	152
Tabla 27. <i>Estructura para presentar los resultados de las actividades</i>	155
Tabla 28. <i>Concepciones sobre tiempo atmosférico y clima</i>	158
Tabla 29. <i>Concepciones sobre el efecto invernadero y GEI</i>	159
Tabla 30. <i>Concepciones sobre balance del clima: ciclo del carbono</i>	160
Tabla 31. <i>Concepciones sobre causas antropogénicas</i>	161
Tabla 32. <i>Concepciones sobre consecuencias del CC</i>	161
Tabla 33. <i>Clasificación de preguntas formuladas por los estudiantes: a) tiempo atmosférico. b) clima</i>	163
Tabla 34. <i>Caracterización climática de los territorios analizados por los estudiantes</i> ...	165
Tabla 35. <i>Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el principio de Ricitos de oro y la zona habitable</i>	169
Tabla 36. <i>Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el balance del CO₂ en los sistemas naturales</i>	171
Tabla 37. <i>Plantas seleccionadas por captura y fijación del CO₂</i>	176
Tabla 38. <i>Preguntas formuladas por los estudiantes sobre la imagen “el clima está loco”</i>	177
Tabla 39. <i>Clasificación de emisiones de huella de carbono en los hogares</i>	181
Tabla 40. <i>Preguntas formuladas por los estudiantes con base en la imagen Anuk, el esquimal</i>	183

Tabla 41. <i>Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿Qué tipo de hielo derretido es más perjudicial para el nivel del mar?</i>	184
Tabla 42. <i>Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿por qué el color del hielo ayuda a regular el clima?</i>	184
Tabla 43. <i>Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿Cuáles son las consecuencias del derretimiento del hielo (con respecto al albedo) en la superficie terrestre?</i>	185
Tabla 44. <i>Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el caso Tuvalu.</i>	186
Tabla 45. <i>Mapas conceptuales iniciales y finales</i>	192
Tabla 46. <i>Progresión de la formulación de preguntas en el desarrollo de la UEPS</i>	202
Tabla 47. <i>Transformación de las representaciones durante la implementación de la UEPS</i>	206
Tabla 48. <i>Respuestas de los estudiantes en relación con el caso Tuvalu</i>	209
Tabla 49. <i>Uso del lenguaje científico escolar en la formulación de propuestas de mitigación</i>	211
Tabla 50. <i>Ajustes al prototipo del diseño de la UEPS del CC desde una perspectiva crítica</i>	215

Lista de figuras

Figura 1. <i>Cambios en el sistema climático desde finales del siglo XIX</i>	46
Figura 2. <i>Puntos de convergencia entre ECC, ASC y la UEPS</i>	62
Figura 3. <i>Estructura general de la IBD (Molina, et al., 2011)</i>	66
Figura 4. <i>Fases del proceso de construcción y validación de la UEPS sobre cambio climático a partir de la metodología de IBD</i>	68
Figura 5. <i>Modelo de desarrollo de categorías deductivas de Mayring (2014)</i>	74
Figura 6. <i>Modelo de desarrollo de categorías inductivas de Mayring (2014)</i>	75
Figura 7. <i>Diagrama de flujo para la selección de artículos. Adaptado de PRISMA 2020</i> . 96	
Figura 8. <i>Publicaciones de ECC para secundaria en los últimos 11 años</i>	97
Figura 9. <i>Publicaciones de ECC por país</i>	98
Figura 10. <i>Contenidos asociados a la ECC en secundaria</i>	109
Figura 11. <i>Estrategias pedagógicas y didácticas en la ECC</i>	113
Figura 12. <i>Diagrama de flujo para la selección de artículos. Adaptado de PRISMA 2020</i>	115
Figura 13. <i>Revisión de literatura de ASC en los últimos 11 años</i>	116
Figura 14. <i>Disciplinas científicas exploradas con ASC</i>	121
Figura 15. <i>Principios facilitadores de ASC utilizados en el aula de clase</i>	122
Figura 16. <i>Principios de ASC utilizados con mayor frecuencia en el aula</i>	126
Figura 17. <i>Diversidad de estrategias y materiales usados en el ASC (%)</i>	128
Figura 18. <i>Aprendizaje activo y participativo: base para implementación de diversidad de estrategias en ASC</i>	129
Figura 19. <i>Diagrama de la articulación entre ECC y ASC en el diseño de la UEPS</i>	130
Figura 20. <i>Estrategias seleccionadas para el principio de la interacción social y el cuestionamiento</i>	135
Figura 21. <i>Estrategias seleccionadas para el principio del conocimiento como lenguaje</i>	136

Figura 22. Estrategias seleccionadas para el principio de percepción-representación ..	137
Figura 23. Estructuración de conocimientos mediante mapas conceptuales.....	146
Figura 24. Mapas conceptuales: a. sin palabras de enlace, b. usando palabras de enlace	147
Figura 25. Estructuración de conocimientos mediante mapas conceptuales.....	156
Figura 26. Mapas conceptuales: a sin palabras de enlace. b usando palabras de enlace	157
Figura 27. Percepciones y representaciones del ciclo del agua.....	164
Figura 28. Mapas conceptuales: diferencias entre TA y clima (Lopera Pérez & Bolívar, 2018)	166
Figura 29. Elementos identificados por los estudiantes como necesarios para la vida en un planeta.....	170
Figura 30. Percepción-representación de la afirmación “las plantas capturan CO ₂ ”	172
Figura 31. Establecimiento de marcación de parcelas, muestreo y toma de datos.	173
Figura 32. Distribución de CO ₂ desde la perspectiva de los estudiantes (rojo, alta; amarillo-verde intermedia y azul, bajas emisiones)	178
Figura 33. Percepciones de emisiones de CO ₂ en varios países del mundo	180
Figura 34. Secuencia de implementación de la UEPS.....	199

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ACE	Acción climática de empoderamiento
AS	Aprendizaje Significativo
ASC	Aprendizaje Significativo Crítico
CC	Cambio Climático
CICC	Comité interinstitucional de cambio climático
CO₂	Dióxido de Carbono
CH₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DBA	Derechos Básicos de Aprendizaje
DS	Desarrollo Sostenible
DOAJ	Directory of Open Access Journals
ECC	Educación para el Cambio Climático
ERIC	Education Resources Information Center
EEUU	Estados Unidos
EA	Educación Ambiental
EDS	Educación para el Desarrollo Sostenible
ECB	Estándares de Competencias Básicas
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IA	Investigación Acción
IBD	Investigación Basada en Diseño
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IE	Institución Educativa
IFN	Inventario Forestal Nacional
NGSS	Next Generation Science Standards
N₂O	Óxido Nitroso
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PIEA	Proyecto Institucional de Educación Ambiental
PIGCCS	Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial

PIGCCT	Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRAE	Proyecto Ambiental Escolar
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
RENARE	Registro Nacional de Reducción de Emisiones
RSL	Revisión Sistemática de Literatura
SISCLIMA	Sistema Nacional de Cambio Climático
SNIF	Sistema Nacional de Información Forestal
TASC	Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico
SMBYC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
UEPS	Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Resumen

La crisis climática requiere acciones urgentes y una comprensión de sus causas e impactos. Esta tesis analiza la contribución de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa sobre cambio climático, fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, al desarrollo de una visión crítica y reflexiva del fenómeno en estudiantes de séptimo grado. El estudio se desarrolló mediante la metodología de Investigación Basada en Diseño, organizada en cuatro fases. En la fase uno, una revisión sistemática de literatura permitió identificar conceptos clave del fenómeno y de los principios del Aprendizaje Significativo Crítico, para alinearlos con los referentes curriculares nacionales y articularlos en el diseño de la unidad didáctica (fase dos). Dos ciclos iterativos: uno de validación por expertos, implementada parcialmente en un contexto escolar de Pasto (Nariño), y otro de implementación completa en Envigado (Antioquia), en los que se recopilaron datos mediante observación participante y análisis de producciones estudiantiles (fase tres). En la fase 4, los resultados evidenciaron avances en el pensamiento sistémico, el uso del lenguaje científico escolar, la formulación de preguntas, la elaboración de representaciones y la adopción de posturas críticas orientadas a la mitigación y transformación del entorno. El análisis retrospectivo permitió identificar indicios de aprendizaje significativo crítico y valorar su potencial para promover la alfabetización climática y el empoderamiento estudiantil. Como contribución a la educación climática, la investigación establece una articulación teórica fundamentada entre la ECC y la TASC, aportando una propuesta didáctica desde una perspectiva crítica y reflexiva, con potencial de adaptación a otros contextos educativos.

Palabras clave: Aprendizaje significativo crítico, UEPS, Investigación Basada en Diseño, Educación para el cambio climático, Educación secundaria

Abstract

The climate crisis requires urgent action and a clear understanding of its causes and impacts. This thesis analyzes the contribution of a Potentially Meaningful Teaching Unit on climate change, grounded in the Critical Meaningful Learning Theory, to the development of a critical and reflective understanding of the phenomenon in seventh-grade students.

The study was conducted using a Design-Based Research methodology, organized into four phases. In phase one, a systematic literature review made it possible to identify key concepts related to the phenomenon and the principles of Critical Meaningful Learning, aligning them with national curricular standards and integrating them into the design of the didactic unit (phase two). Two iterative cycles were carried out: one for expert validation, partially implemented in a school context in Pasto (Nariño), and another for full implementation in Envigado (Antioquia), during which data were collected through participant observation and analysis of student productions (phase three).

In phase four, the results showed progress in systems thinking, the use of school scientific language, question formulation, the development of representations, and the adoption of critical stances oriented toward mitigation and environmental transformation. The retrospective analysis made it possible to identify evidence of critical meaningful learning and to assess its potential to promote climate literacy and student empowerment.

As a contribution to climate education, this research establishes a theoretically grounded articulation between Climate Change Education and Critical Meaningful Learning Theory, offering a didactic proposal from a critical and reflective perspective, with potential for adaptation to other educational contexts.

Keywords: Critical meaningful learning; PMTU; Design-Based Research; Climate Change Education; Secondary education

Introducción

El cambio climático se ha consolidado como una de las problemáticas más urgentes y complejas del siglo XXI, debido a sus múltiples impactos ambientales, sociales, económicos y éticos. Sequías prolongadas, inundaciones, pérdida de biodiversidad, afectaciones en la salud pública y desplazamientos humanos evidencian que el fenómeno trasciende lo ambiental para convertirse en una crisis sistémica que compromete profundamente la vida en el planeta (Intergovernmental Panel On Climate Change [IPCC], 2021a). Ante este panorama, organismos internacionales como la UNESCO, & United Nations Framework Convention on Climate Change (2016), UNESCO (2021), UNESCO, & University of Saskatchewan (2024) coinciden en que la educación constituye un eje estratégico para comprender la magnitud del desafío y desarrollar capacidades críticas, reflexivas y orientadas a la acción que permitan enfrentarlo de manera informada y responsable.

No obstante, la integración del cambio climático en los currículos escolares, en algunos países, continúa siendo limitada y fragmentada (Stevenson et al., 2017; You et al., 2021). En Colombia, el fenómeno no aparece explícitamente en los Estándares de Competencias Básicas (Ministerio de Educación Nacional (MEN), 2004) ni en los Derechos Básicos de Aprendizaje (Ministerio de Educación Nacional (MEN) & Universidad de Antioquia, 2016); lo que genera vacíos conceptuales y dificulta que los estudiantes comprendan el carácter interdisciplinario, multicausal y global-local del problema. Esta ausencia curricular suele derivar en prácticas educativas superficiales, centradas en actividades aisladas, que no promueven ni la comprensión profunda ni un compromiso real frente a la crisis climática. Esta situación también se evidencia en la Institución Educativa La Paz (Envigado, Antioquia), donde el cambio climático no se aborda de manera sistemática dentro del plan de estudios.

Frente a este escenario, se hace necesario explorar enfoques pedagógicos que articulen conocimientos científicos, reflexión crítica y acción transformadora. La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) de Moreira (2005), derivada de la teoría de aprendizaje significativo propuesta por David Asubel, ofrece un marco pertinente para comprender fenómenos complejos como el cambio climático, al integrar la dimensión

cognitiva con la problematización del contexto, la lectura crítica de la realidad y la toma de decisiones fundamentadas. Sin embargo, pese a su amplio desarrollo en áreas como física, biología y ciencias ambientales, no se han documentado propuestas que articulen explícitamente el ASC con la Educación para el Cambio Climático (ECC), lo que configura un vacío de conocimiento y una oportunidad de innovación pedagógica.

En esta investigación, el ASC se articula con la ECC mediante el diseño de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (UEPS) (Moreira, 2011), concebida como una propuesta didáctica orientada a promover aprendizajes profundos, pensamiento sistémico y posturas críticas en estudiantes de secundaria. Para garantizar la coherencia entre el problema, el diseño y la evaluación de la propuesta, este estudio adopta la Investigación Basada en Diseño (IBD) como enfoque metodológico. La IBD permite desarrollar, implementar y refinar intervenciones educativas en contextos reales mediante ciclos iterativos de diseño, experimentación, análisis y rediseño (Guisasola et al., 2021; Molina et al., 2011; Reeves, 2006). Su énfasis en la pertinencia contextual, la participación activa y la validación progresiva la convierte en un marco adecuado para responder a la necesidad de integrar el cambio climático en el currículo escolar a través de propuestas pedagógicas sólidas y fundamentadas.

En suma, esta tesis busca aportar una referencia conceptual, didáctica y metodológica que permita integrar la educación climática en la escuela desde una perspectiva crítica, situada y orientada a la acción, fortaleciendo la comprensión del fenómeno y la formación de una ciudadanía ambientalmente responsable.

Estructura de las memorias de la tesis doctoral

Esta tesis está organizada en cinco capítulos. En el capítulo 1 se hace el planteamiento del problema que conlleva a la pregunta de investigación y los objetivos trazados para direccionarla. El capítulo 2 contiene el marco conceptual de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, la Educación para el Cambio Climático y la articulación de ambos referentes teóricos que soportan esta investigación. El capítulo 3 aloja el marco teórico metodológico bajo la perspectiva de una investigación de tradición cualitativa, profundizando en la Investigación Basada en Diseño (IBD), las variables de análisis, los

instrumentos de recolección de la información y los métodos para el análisis de datos. El capítulo 4 expone los resultados de cada fase de la IBD, iniciando con la fase uno correspondiente a la revisión sistemática de literatura de estudios de la TASC y de estudios relacionados con los elementos de ECC. La fase dos presenta el prototipo del diseño de la UEPS de cambio climático desde la perspectiva de la TASC; la fase tres detalla los ciclos iterativos de validación por parte de expertos e implementación de la UEPS en estudiantes de grado séptimo. La fase cuatro muestra la evaluación de la calidad del diseño y los indicios de aprendizaje significativo crítico de los estudiantes. El capítulo V se centra en las conclusiones, limitaciones y las líneas futuras de investigación.

Capítulo 1. Planteamiento del problema

El cambio climático es uno de los fenómenos más urgentes y trascendentes de la actualidad por la magnitud de sus impactos y la necesidad de dar respuestas inmediatas para reducir sus efectos. Sus manifestaciones no solo se limitan al ámbito ambiental, con sequías prolongadas, inundaciones y temporadas invernales extremas que afectan la producción de alimentos, la seguridad de las viviendas y la pérdida de biodiversidad, sino que también alcanzan dimensiones sociales, económicas y de salud pública, al incrementar la vulnerabilidad de las comunidades y profundizar las desigualdades existentes (IPCC, 2021a; Selby & Kagawa, 2013; UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

La causa principal del cambio climático es la emisión constante de Gases de Efecto Invernadero (GEI), producidos principalmente por actividades humanas desde el inicio de la industrialización, y con un incremento notable a partir de la década de 1970. Estas actividades han permitido garantizar necesidades básicas como agua potable, alimento, salud y educación; no obstante, también han impulsado nuevos estilos de vida caracterizados por el consumismo, el materialismo, la sobreexplotación de recursos, la generación excesiva de residuos, la deforestación con fines de urbanización y el crecimiento acelerado de las ciudades. En conjunto, estas dinámicas han intensificado el ritmo natural del clima, provocando efectos adversos cada vez más evidentes (Lehtonen et al., 2018; UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

Las emisiones son cada vez mayores y los efectos del cambio climático son más visibles, al punto que el fenómeno ha pasado de entenderse como un simple cambio climático a ser considerado una crisis climática, convirtiéndose en un problema complejo, de los mayores desafíos globales contemporáneos (Cook, 2022).

Combatir el cambio climático requiere un análisis crítico de la realidad, de lo que la humanidad está construyendo y reflexionar sobre la raíz del problema (Lehtonen et al., 2018).

En este escenario, la educación se constituye en un componente clave, pues representa el medio más efectivo para que la sociedad comprenda la magnitud del desafío y desarrolle las capacidades necesarias para enfrentarlo (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

Desde la Cumbre de Río (1992), la Educación para el Cambio Climático (ECC) se ha reconocido como un pilar clave para enfrentar esta problemática promoviéndola en todos los niveles del sistema escolar (UNESCO, 2020). En este marco, la ECC busca formar a las nuevas generaciones no solo en fortalecer los conocimientos sobre las causas e impactos del fenómeno, sino también promover la sensibilización y transformación de actitudes, creencias y comportamientos. Además, plantea el propósito de comprometerse con la investigación y la innovación tecnológica orientada a la mitigación de sus efectos, y en la adaptación al fenómeno, con el desarrollo de estrategias que reduzcan la vulnerabilidad de las poblaciones frente a sus efectos (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

No obstante, aunque la primera directriz internacional sobre la ECC se emitió hace más de tres décadas, su incorporación en los currículos escolares aún no se hace evidente.

Es posible que esto se deba a que el fenómeno es considerado sumamente complejo, ya que interconecta dimensiones ecológicas, políticas, económicas, sociales y éticas del planeta y esto hace que sus impactos no puedan resolverse desde un pensamiento lineal o mecanicista. Por ejemplo, los impactos ecológicos se interconectan con los sociales visibles en la escasez de alimento o la migración de las poblaciones; la interconexión entre los elementos éticos y económicos se ve reflejada entre lo que se necesita para vivir y lo que se desea en términos de consumo y materialismo; la dimensión ética se desconecta de la biósfera cuando se niega el cambio climático y se justifica el consumismo; estas dimensiones se interconectan con el cambio climático a nivel global pero sus impactos varían localmente. Es por ello que la ECC necesita enriquecer el conocimiento contextual y subjetivo en la práctica (Lehtonen et al., 2018).

En el ámbito escolar a nivel internacional, el fenómeno suele ser considerado un tema ambiental y no se incluye directamente en el currículo escolar. Tradicionalmente la enseñanza de temas ambientales está vinculada con las ciencias naturales, un área organizada en estructuras temáticas con diversas disciplinas anexas y contenidos individuales, sin una visión holística del problema (Lehtonen et al., 2018). Lo que es especialmente preocupante, ya que la ausencia de una integración clara del cambio climático en los currículos ha llevado a que el tema se aborde de manera superficial.

Diversos investigadores señalan que, debido a su carácter interdisciplinario, resulta complejo articularlo en los planes de clase, lo que con frecuencia deriva en un tratamiento

fragmentado y sin la profundidad necesaria (Roychoudhury et al., 2017; Siegner, 2018; Xie et al., 2014; You et al., 2021). En consecuencia, los estudiantes reciben información fragmentada que limita la comprensión de la crisis climática como un fenómeno global y la posibilidad de desarrollar una conciencia crítica y transformadora frente a sus impactos (Lehtonen et al., 2018).

Esta situación puede conducir a un aprendizaje mecánico y a corto plazo, sin conexión real con su vida cotidiana y reduciendo la posibilidad de actuar frente a la problemática. La ECC basada en información fragmentada, lineal y sin implicación activa favorece un aprendizaje superficial (Lehtonen et al., 2018).

Colombia no es ajena a esta situación. La educación ambiental está ligada a la educación en ciencias naturales; y en el año 1994 se crearon los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) para estudiar las problemáticas ambientales, regionales y locales (Ministerio de Educación Nacional & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003; Pita-Morales, 2016; Torres Carrasco, 1998). No obstante, el cambio climático no está vinculado de forma explícita en ninguno de los dos referentes curriculares de ciencias naturales para secundaria emanados por el Ministerio de Educación Nacional, ni en los Estándares de Competencias Básicas de Ciencias Naturales (ECB), ni en los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) (MEN, 2004; MEN & Universidad de Antioquia, 2016). Por lo tanto, los contenidos científicos relacionados con el fenómeno se encuentran distribuidos entre las disciplinas de las ciencias naturales y las ciencias sociales y dispersos entre los niveles escolares.

Por otro lado, tras más de tres décadas de la puesta en marcha de los PRAE, su impacto ha resultado limitado. Diversos estudios evidencian que los fenómenos ambientales suelen abordarse de manera superficial, quedando sujetos a la voluntad del docente, quien decide si incluirlos o no, y con qué nivel de profundidad. En la práctica, los PRAE se desarrollan como proyectos aislados, predominantemente de corte mecánico, sin un sustento conceptual sólido sobre los fenómenos, con escasa interdisciplinariedad y con una marcada brecha entre lo planteado en el currículo nacional y lo que realmente se implementa en las instituciones educativas (Gutiérrez Sabogal, 2015; Henao Hueso y Sánchez Arce et al., 2019).

A nivel regional, en Antioquia también se reconocen dificultades en la ejecución de los PRAE, señalando que las acciones educativas suelen reducirse a la conmemoración de fechas ambientales. Aunque en los últimos años el número de PRAE ha aumentado, aún no se evidencian impactos significativos en la cultura, la sociedad, ni en los ecosistemas (Higuita, 2017).

De manera más específica, en la Institución Educativa (IE) la Paz, ubicada en el municipio de Envigado (Antioquia) y escenario de esta investigación, se adoptan los referentes curriculares procedentes del MEN; lo que implica que, por un lado, el cambio climático no está incorporado de manera explícita en el plan de estudios, y, por otro lado, no existen registros de un trabajo sistemático sobre el tema al interior del PRAE. En esta IE, el PRAE está a cargo de algunos docentes de ciencias naturales y se centra principalmente en actividades como el reciclaje, la conmemoración de fechas ambientales y charlas de entidades externas; sin embargo, están descontextualizadas y carecen de un sustento conceptual orientado a la acción. Esto coincide con lo señalado por Gutiérrez Sabogal (2015), quien advierte que dichas condiciones de aula en la educación ambiental no generan la reflexión necesaria para promover un verdadero empoderamiento estudiantil.

En este contexto, las problemáticas ambientales se abordan de manera superficial, tanto desde la educación científica como desde los PRAE, sin profundizar en los conceptos asociados al tema. Como resultado, se evidencia una baja conciencia ambiental y un compromiso limitado por parte de los estudiantes, quienes tienden a realizar las actividades más por el estímulo de una calificación que como una oportunidad para comprender y transformar su entorno. Esta situación limita la apropiación de los conceptos y dificulta el desarrollo de actitudes críticas frente a la problemática ambiental. En lugar de generar interés, las acciones se convierten en actividades mecánicas que no conectan con la vida cotidiana de los estudiantes. Esto conlleva a debilitar la capacidad de los PRAE y de la educación científica para despertar conciencia, fomentar el sentido de responsabilidad ambiental y promover la participación activa en la construcción de soluciones sostenibles.

En el intento de subsanar esta dificultad, la literatura da cuenta de diversas estrategias empleadas en la ECC, entre ellas, el aprendizaje por indagación, el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en el arte, la co-enseñanza, el intercambio de información entre pares y la argumentación, el pensamiento sistémico y el enfoque interdisciplinario. A

continuación, se describen las principales características de estas estrategias y sus aportes a la ECC.

El *aprendizaje por indagación* se fundamenta en la participación activa de los estudiantes en la formulación de preguntas, la investigación, el análisis y la reflexión sobre fenómenos climáticos, en lugar de limitarse a recibir información. Stevenson et al. (2017) sostienen que los enfoques de educación climática deben asumir el carácter complejo y contextualizado del tema, promoviendo la investigación local y la participación en acciones reales. Gebeyehu et al. (2024) evidencian que, si bien los estudiantes poseen cierta conciencia sobre la energía, presentan dificultades para relacionar estos conocimientos con la ciencia climática y sus impactos, por lo que la indagación resulta esencial para comprender cómo se produce el conocimiento científico (observación, modelado, análisis de datos). En la misma línea, McCright (2012) mostró que un proyecto de aprendizaje por indagación durante un semestre mejoró la alfabetización científica de los estudiantes, fomentando el pensamiento crítico y las competencias interdisciplinarias.

El *aprendizaje basado en proyectos* ha permitido conectar la escuela con la comunidad, favoreciendo acciones concretas de mitigación y adaptación (Muller & Wood, 2021; Siegner, 2018; Wróblewska & Okraszewska, 2020). Muller y Wood (2021) implementaron el enfoque *Do One Thing (DOT)* con estudiantes de séptimo grado en Sudáfrica, quienes, mediante investigación-acción participativa, diseñaron acciones locales de mitigación del cambio climático. Siegner (2018) desarrolló un currículo en torno a huertos escolares como espacios para aprender sobre agricultura, alimentación y ecosistemas, fortaleciendo el vínculo entre escuela y comunidad. Por su parte, Wróblewska y Okraszewska (2020) analizaron proyectos interdisciplinarios en el valle de Reda, donde los estudiantes investigaron soluciones reales de adaptación frente al cambio climático. En conjunto, estos estudios demuestran que el aprendizaje basado en proyectos promueve la agencia estudiantil, la acción climática y un aprendizaje contextualizado.

El *aprendizaje basado en el arte* libera el potencial creativo, intuitivo y racional de los estudiantes para profundizar en problemáticas naturales y sociales (Lehtonen et al., 2018). Lehtonen et al. (2018) proponen una ECC orientada a los desafíos del Antropoceno mediante un enfoque interdisciplinario, experiencial y eco-social, donde el arte ocupa un papel central al vincular conocimiento científico con dimensiones emocionales y éticas del cambio

climático. A través de la expresión artística, la narrativa y la creatividad, los estudiantes exploran la incertidumbre, imaginan futuros sostenibles y transforman su relación con la naturaleza. Este enfoque integra razón, emoción y acción, favoreciendo una conciencia planetaria crítica y una formación ética y sensible ante los problemas ambientales.

La *co-enseñanza y la argumentación entre pares* se destacan por fomentar la colaboración y el intercambio de experiencias entre estudiantes y profesionales de distintas localidades (Korsager & Slotta, 2015; Xie et al., 2014). Korsager y Slotta (2015) promovieron la cooperación internacional entre estudiantes de diferentes países, quienes trabajaron en línea para comprender los efectos del cambio climático desde diversas perspectivas. A través de la argumentación científica, la co-enseñanza y el uso de herramientas digitales, los participantes integraron conocimientos científicos y socioculturales, desarrollando una conciencia global del problema. De manera similar, Xie et al. (2014) implementaron una experiencia de aprendizaje basado en proyectos e indagación donde los estudiantes utilizaron un sistema de teledetección con cometas (AEROKATS) para recopilar datos ambientales locales, comparándolos con los de otras escuelas y con datos de la NASA. Este intercambio fortaleció la comprensión global y contextualizada del cambio climático, así como el uso interdisciplinario de la ciencia y la tecnología.

El pensamiento sistémico constituye otra estrategia fundamental para comprender las interconexiones entre los sistemas naturales y humanos. Roychoudhury et al. (2017) señalan que la ECC debe promover la integración de modelos mentales, simulaciones y proyectos interdisciplinarios para facilitar una comprensión holística del cambio climático, permitiendo a los estudiantes tomar decisiones informadas y participar activamente en la solución de problemas ambientales.

Finalmente, el enfoque interdisciplinario plantea que los currículos escolares deben incorporar de manera explícita los temas climáticos y sus impactos sociales y ambientales. Falaye y Okwilagwe (2016) y Gebeyehu et al. (2024) coinciden en que la ECC debe ser holística, vinculando conceptos científicos con problemas reales de justicia ambiental y social. Este enfoque promueve una comprensión integral del cambio climático como fenómeno científico y ético que requiere la integración de saberes y disciplinas.

En conjunto, estas estrategias han demostrado avances en sensibilización, participación estudiantil y comprensión del fenómeno climático. Estas estrategias pueden

ser complementarias para la ECC, sin embargo, los alcances y limitaciones de estos aportes dependen de la organización curricular, de cómo los docentes utilizan estas estrategias, de las condiciones de la escuela y de la alineación con los currículos.

Con la intención de generar un aporte para un abordaje crítico de este fenómeno en el contexto escolar, se vislumbra la Teoría Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) (Moreira, 2005), como una opción para abordar el cambio climático, en la medida en que logra integrar la dimensión cognitiva con la reflexión crítica y la acción transformadora. Este enfoque permite que los estudiantes relacionen los nuevos contenidos con sus conocimientos previos, impulsando la problematización del contexto, el cuestionamiento de prácticas insostenibles y la construcción de propuestas frente a problemáticas actuales. Esta teoría posibilita la reflexión y la criticidad, competencias esenciales para comprender fenómenos complejos como el cambio climático.

Al aprovechar las posibilidades formativas que ofrece la TASC, se puede propiciar un aprendizaje más profundo, duradero y participativo, que influya de manera positiva en los estudiantes. Asimismo, plantea un aprendizaje contextualizado que permite integrar de forma coherente las problemáticas ambientales en el plan de clase escolar, abordándolas desde diferentes disciplinas científicas. En consecuencia, se espera que la TASC contribuya no solo a la comprensión del cambio climático, sino que también fomente una conciencia crítica y transformadora en los estudiantes, preparándolos para convertirse en agentes activos frente a los desafíos ambientales.

Los países que han incursionado en la TASC son principalmente Brasil (Lima et al., 2016; Chirone, et al., 2021b, 2021a; Da Silva & Da Silva, 2016; Ferreira Matos et al., 2018; Fontana Piffero et al., 2020; Infante-Malachias & Borges dos Santos, 2013; López Ríos et al., 2012; Nóbrega da Silva et al., 2023) España (Cándido et al., 2023; Chirone, et al., 2021b, 2021a; Giraldo, 2019) y México (Lamar & Bolívar, 2019) y se ha aplicado en disciplinas científicas, principalmente en la física (Cándido et al., 2023; Fontana Piffero et al., 2020; Giraldo, 2019; Lamar & Bolívar, 2019; López Ríos et al., 2012, 2014) la química (Lima et al., 2016; Da Silva & Da Silva, 2016), las matemáticas (Chirone, et al., 2021b, 2021a), biología (Infante-Malachias & Borges dos Santos, 2013) y ambientales (Ferreira Matos et al., 2018; Nóbrega da Silva et al., 2023), pero, concretamente con relación al estudio del cambio climático, hasta el momento no se ha encontrado información.

En Colombia, también se ha implementado la TASC en disciplinas como la física (Betancur Ramírez et al., 2019; López, 2020; Marín, 2019), biología (Galeano, 2022, 2023; Medina Talero y Urazán Benítez, 2013, 2015; Obando Melo & López Ríos, 2021; Restrepo, 2017) y ambientales (Barrero Montoya et al., 2019). No obstante, no se registran estudios que establezcan una relación concreta con el cambio climático.

En esta línea, se reconocen las posibilidades formativas que ofrece la TASC y la necesidad de fortalecer las acciones ambientales que movilicen a la juventud, dado su papel fundamental en la sociedad actual. Por ello, se considera viable implementar los principios facilitadores de la TASC a la ECC con el propósito de diseñar una estrategia pedagógica que permita alcanzar aprendizajes más significativos, duraderos y participativos, además de influir en las actitudes de los estudiantes frente al fenómeno, fomentando su comprensión y el surgimiento de posibles acciones de mitigación.

En la implementación de la TASC se han utilizado diversas estrategias didácticas, como lecturas, experimentos, simuladores, proyectos e investigaciones. Sin embargo, una propuesta que reúne diversidad de estrategias, organizadas bajo los principios del aprendizaje significativo, y que se destaca por sus virtudes, es el uso de las Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS), propuestas por Moreira, (2011). Estas se conciben como estructuras pedagógicas orientadas a facilitar aprendizajes mediante la organización de contenidos. Su diseño parte de situaciones problemáticas que se abordan de forma gradual, integrando estrategias como discusiones, representaciones gráficas, actividades prácticas y análisis crítico, lo cual favorece la construcción de conocimientos y la conexión entre los nuevos conocimientos y los saberes previos de los estudiantes. De esta manera, las UEPS se convierten en un recurso clave para el tratamiento de fenómenos complejos, al promover la reflexión, la comprensión profunda y la acción transformadora de los estudiantes.

El contexto en el que se desarrolla este estudio, es la IE La Paz, localizada en un municipio con altos índices de deforestación asociada a la urbanización, el consumo excesivo y el crecimiento demográfico, factores que inciden directamente en el incremento de los GEI, causantes de la alteración climática (Higuita, 2017). Ante este panorama, resulta urgente implementar la ECC, orientada a atender las problemáticas locales, incorporar curricularmente los contenidos asociados al fenómeno y garantizar la participación activa del estudiantado en procesos de reflexión y acción transformadora. Frente a ello, se hace

imprescindible contar con herramientas pedagógicas y didácticas que promuevan aprendizajes profundos, críticos, contextuales e interdisciplinarios.

Con el fin de lograr la articulación entre la TASC y la ECC, se propone diseñar, desde la metodología de la Investigación Basada en Diseño (IBD), una UEPS que integre diversas estrategias y herramientas pedagógicas y didácticas pertinentes, previamente utilizadas con éxito en experiencias educativas orientadas a la transformación social. Dada la complejidad e interdisciplinariedad del fenómeno, el diseño de la UEPS, es nutrido por la revisión de la literatura, las características del contexto educativo, tanto de los estudiantes como de sus familias y los principios de la TASC, para contribuir al desarrollo de una visión crítica y reflexiva en los estudiantes frente a los impactos del cambio climático, tales como las alteraciones en los patrones climáticos, el incremento de la huella de carbono, la pérdida de biodiversidad y, en consecuencia, los efectos negativos en la economía, la vivienda, la salud, la alimentación y la vida misma.

De acuerdo con lo mencionado, se plantean tres preguntas de investigación: una principal dos preguntas auxiliares

1.1 Pregunta de investigación principal

¿Cuál es la contribución de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa al aprendizaje crítico y reflexivo sobre el cambio climático, en estudiantes de secundaria?

Preguntas auxiliares

¿Qué características debe contemplar una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa para abordar conceptos asociados al cambio climático?

¿Cómo la UEPS sobre el cambio climático favorece el aprendizaje crítico y reflexivo en estudiantes de séptimo grado de la IE La Paz?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar la contribución de una UEPS sobre el cambio climático al aprendizaje crítico y reflexivo en estudiantes de grado séptimo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los elementos que aporta la revisión de literatura de ECC al diseño de la UEPS para la educación básica secundaria.
- Reconocer las contribuciones teóricas y metodológicas que la revisión de literatura de ASC ofrece para el diseño de la UEPS sobre cambio climático.
- Articular los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico con el diseño de la UEPS sobre cambio climático.
- Describir los principales indicios de Aprendizaje Significativo Crítico en los participantes a partir de la implementación de la UEPS sobre cambio climático

Capítulo 2. Marco conceptual

En este capítulo se desarrollan los referentes teóricos que sustentan los dos núcleos temáticos centrales de esta investigación. En primer lugar, se aborda la Teoría del Aprendizaje significativo propuesta por David Ausubel, con especial énfasis en sus condiciones, requisitos, la construcción de Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS). Posteriormente, se profundiza en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), planteada por Moreira (2005), y que se constituye en un elemento fundamental de esta tesis.

En segundo lugar, se presenta el Cambio Climático, origen e impactos globales y nacionales, seguido de los referentes normativos e institucionales que enmarcan la Educación para el Cambio Climático (ECC), desde organismos internacionales como la UNESCO y el IPCC, hasta las políticas públicas nacionales en Colombia. Además, se delibera sobre la inserción de la ECC en la educación ambiental y científica en el contexto global y nacional colombiano.

Finalmente, se exploran los puntos de convergencia entre los referentes teóricos, destacando su potencial para favorecer una comprensión crítica y contextualizada del Cambio Climático, especialmente en relación con la formación de sujetos comprometidos con la mitigación y adaptación frente a este fenómeno. Asimismo, se reflexiona sobre las posibles limitaciones y desafíos que implica la articulación de estas perspectivas en los procesos educativos.

Las secciones que siguen desarrollan en detalle cada uno de estos referentes y su articulación en el contexto de esta investigación.

2.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel

Durante varias décadas, los enfoques conductistas se mantenían en el sistema educativo con la idea de que los estudiantes memorizaran los contenidos impartidos por el docente en el aula de clases. Esto conllevó a generar aprendizajes momentáneos y mecánicos con poca o nula participación por parte de los estudiantes.

En los años 60, con el ánimo de buscar una transformación educativa, donde los estudiantes construyeran sus conocimientos y su participación se hiciera más activa, surge un enfoque constructivista; y en consonancia con este, Ausubel propone la construcción de conocimientos desde la perspectiva del Aprendizaje Significativo la cual pretende la búsqueda de nuevos conocimientos, con significado, con comprensión y aplicación en explicaciones, argumentaciones y solución de situaciones, incluso de nuevas situaciones (Moreira, 2017).

El Aprendizaje Significativo “es aquel en el que ideas expresadas simbólicamente interactúan de manera sustantiva y no arbitraria con lo que el aprendiz ya sabe” (Moreira, 2012, p. 30). Por lo tanto, el conocimiento previo se considera el pilar fundamental para la incorporación de nuevos conocimientos.

De acuerdo con Ausubel, la construcción del conocimiento implica la negociación de significados entre los participantes del proceso educativo (docente–estudiante y estudiante–estudiante), especialmente, a través del análisis de situaciones problemáticas. Es en este espacio donde se activan procesos cognitivos como la captación, la internalización, la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora de significados, los cuales permiten una comprensión cada vez más profunda y estable de los contenidos, desarrollándose y perfeccionándose con el tiempo (Moreira, 2012).

Así, el aprendizaje significativo no se reduce a la adquisición de información, sino que implica procesos de comprensión, interpretación y aplicación en diversos contextos. En esta misma línea, Joseph Novak (2010) amplía esta concepción al resaltar la construcción de significados compartidos y la relevancia de los mapas conceptuales como herramienta para representar la estructura cognitiva.

En consecuencia, el conocimiento previo no solo constituye el eje central del aprendizaje, en tanto permite el anclaje de nuevos significados, sino que también se configura en interacción con otros, mediante procesos de negociación en contextos educativos en la construcción del conocimiento (Moreira, 2012; Novak, 2010).

Ausubel, considera tres tipos de aprendizaje:

1) *Aprendizaje representacional*: tiene lugar cuando símbolos arbitrarios pasan a representar, en significado, determinados objetos o eventos; es decir, que se asocian

simbólicamente a los referentes que use el estudiante para definir los conceptos que tiene (Moreira, 1997, 2012).

2) *Aprendizaje conceptual*: se da cuando el individuo percibe regularidades en eventos u objetos para dar significado a ese símbolo. Se trata entonces, de un aprendizaje representacional de alto nivel y parte del aprendizaje por representaciones, pero los conceptos se adquieren mediante dos procesos: la formación del concepto y la asimilación. En la formación de conceptos, las características del concepto se adquieren mediante la experiencia directa, en etapas sucesivas de formulación; la asimilación nace cuando se amplía el vocabulario incluyendo lo aprendido (Moreira, 2012).

3) *Aprendizaje proposicional*, implica otorgar significado a nuevas ideas expresadas en forma de una proposición. Los aprendizajes representacional y conceptual son prerequisite para el aprendizaje proposicional, pero el significado de una proposición no es la suma de los significados de los conceptos y palabras que contiene (Moreira, 2012), sino que una vez asimilado el concepto son capaces de interactuar con las ideas relevantes ya establecidas en la estructura cognoscitiva y de esa interacción, surgen los significados de la nueva proposición (Moreira, 1997).

Por otro lado, el autor menciona tres formas en las que se podría dar el Aprendizaje Significativo. *Subordinación*: nuevos conocimientos adquieren significado y se anclan e interactúan con los conocimientos previos de la estructura cognitiva del aprendiz. *Superordenación*: el aprendiz no tiene un concepto, sino que, por razonamiento inductivo (haciendo relaciones, estableciendo semejanzas y diferencias) construye uno. Este aprendizaje implica procesos de abstracción, inducción y síntesis. *Combinatorio*: un nuevo conocimiento requiere la interacción con varios conocimientos previos, pero no es ni más inclusiva ni más específica que los conocimientos originales, no los subordina ni los superordena (Moreira, 2012).

Para que el Aprendizaje Significativo se produzca, es fundamental promover la indagación y activar los conocimientos previos del estudiante. No obstante, también es necesario considerar las condiciones que facilitan dicho aprendizaje, así como la forma en que los contenidos pueden organizarse de manera anticipada, utilizando herramientas didácticas adecuadas que favorezcan su comprensión.

En este sentido, el aprendizaje significativo no solo depende de la activación de conocimientos previos y de la organización de contenidos, sino también de las condiciones pedagógicas que favorecen la construcción de significados en contextos situados. Esta perspectiva resulta clave para su articulación con enfoques críticos, en los que el aprendizaje trasciende la comprensión conceptual para incorporar procesos de reflexión y transformación.

A continuación, se abordan de manera más detallada estos aspectos.

2.1.1 El rol del conocimiento previo

Ausubel planteó que el elemento central y más importante del aprendizaje es la indagación de los conocimientos previos de los estudiantes, ya que estos constituyen el insumo fundamental para incorporar nuevos aprendizajes (Sexton, 2020). Los conocimientos previos funcionan como anclajes cognitivos que pueden facilitar la construcción de significados durante el proceso de aprendizaje o, por el contrario, pueden representar obstáculos que dificultan la captación de significados (Moreira, 2017).

Según Ausubel, el Aprendizaje Significativo ocurre cuando la nueva información se relaciona de manera sustancial y no arbitraria con lo que el estudiante ya conoce, evitando así un aprendizaje mecánico o memorístico de corta duración (Moreira, 2012). Al conocimiento previo que sirve de base para esta conexión, Ausubel lo denominó subsunsores o idea ancla, el cual puede expresarse como un símbolo, concepto, proposición, modelo mental o imagen. La claridad, estabilidad cognitiva, amplitud y grado de diferenciación de este subsunsores varían a lo largo del tiempo, en función de los aprendizajes significativos que viva el sujeto. Se trata de un conocimiento dinámico y flexible, que puede evolucionar o, en ciertos casos, involucionar (Moreira, 2012).

El proceso de incorporación de nuevos saberes implica una exploración de la estructura cognitiva del estudiante, entendida como un conjunto jerárquico de subsunsores interrelacionados de forma dinámica (Moreira, 2012). Esta estructura cognitiva previa, junto con su organización jerárquica, es la variable más influyente en el aprendizaje y la retención, ya que afecta la manera en que los nuevos conocimientos se integran y diferencian en un proceso continuo.

En este marco, se destacan dos procesos esenciales: la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. La diferenciación progresiva ocurre cuando un subsunso (por ejemplo, un concepto) adquiere nuevos significados al ser utilizado reiteradamente para interpretar nueva información, volviéndose más estable y rico en contenido. Por su parte, la reconciliación integradora se refiere al proceso de eliminar contradicciones, integrar significados y resolver inconsistencias entre lo nuevo y lo ya aprendido. Ambos procesos actúan de forma simultánea, aunque pueden variar en intensidad (Moreira, 2017).

Para el docente, esto implica que comprender lo que los estudiantes ya saben es clave para provocar un aprendizaje significativo, útil y duradero. Identificar los conocimientos previos permite organizar el proceso de enseñanza de modo que estos conocimientos se amplíen y enriquezcan y, posteriormente, establezcan conexiones y coherencia entre las ideas nuevas y las previas. En este sentido, los nuevos aprendizajes se anclan a su estructura cognitiva. Esto facilita al maestro diseñar experiencias de aprendizaje significativas, crear un ambiente propicio y promover el aprendizaje colaborativo (Sexton, 2020).

2.1.1.1 ¿Cómo se crean los conocimientos previos? Ausubel considera la experiencia como un factor clave para el aprendizaje, pues tendrá un sentido relevante en la vida del estudiante. Para el autor, el conocimiento previo es la suma de todo el conocimiento adquirido, así como la organización de los hechos, conceptos y principios que componen ese conocimiento (Sexton, 2020).

En consonancia con Ausubel, Prawat, (1992) plantea que el conocimiento previo se forma a partir de experiencias individuales y sociales y algunas de estas experiencias son resistentes al cambio. Por lo tanto, su identificación en el aula es una parte integral del proceso de planificación de lecciones para promover la participación, alentar a los estudiantes a expresar sus propias ideas y apoyarles en darle sentido a los contenidos. Esto permite identificar potencialidades, necesidades y dificultades en el aprendizaje; así, los conocimientos previos pueden transformarse gradualmente, buscando acercarse cada vez más al conocimiento científicamente aceptado (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

Pozo y Gómez Crespo (2009) consideran que el bagaje de conocimientos o concepciones previas tiene tres orígenes: sensorial, cultural y escolar. El origen sensorial proviene de la interacción directa con el mundo y se le denomina concepciones espontáneas,

que equivalen al intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basan en reglas de causalidad. Las concepciones de origen cultural se forman por el entorno social y cultural, e incluyen las creencias inducidas sobre hechos y fenómenos. En algunos enfoques, estas concepciones se han relacionado con las representaciones sociales, entendidas como construcciones colectivas de significado que orientan la comprensión de la realidad. En este marco, los medios de comunicación desempeñan un papel relevante al influir en la circulación de información, la cual puede ser dinámica, diversa y, en algunos casos, poco estructurada. Las concepciones de origen escolar provienen de aprendizajes escolares y generan ideas que influyen en posteriores aprendizajes, pudiendo reflejar errores conceptuales o didácticos en la forma en la que se presentan los saberes.

De acuerdo con esto, los conocimientos previos se obtienen de la interacción de los sentidos, el lenguaje y la cultura, y las tareas escolares, que forman parte del sentido común y son difíciles de desarraigar. Bajo la Teoría del Aprendizaje Significativo, los docentes intentan conocer cómo están organizadas estas concepciones para incorporar o reestructurar los nuevos conocimientos desde la planificación de su práctica docente (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

Para Ausubel, los estudiantes pueden construir sus conocimientos aprendiendo de manera receptiva o por descubrimiento. El Aprendizaje Significativo receptivo requiere mucha actividad cognitiva para relacionar, interactivamente, los nuevos conocimientos con los ya existentes en la estructura cognitiva, incluyendo procesos de captación de significados, anclaje, diferenciación progresiva y reconciliación integradora (Moreira, 2012). El aprendizaje por descubrimiento, implica que el aprendiz primero descubra lo que va a aprender; sin embargo, es dispendioso descubrir la cantidad de información existente; esto no quiere decir que no sea útil, sino que, puede facilitar algunas situaciones explícitas tales como procedimientos de laboratorio.

Además de la forma en la que llega la información, los procesos de formación de los primeros subsunsores varían de acuerdo con la edad del participante. En las primeras etapas del desarrollo se pueden dar por inferencia, representación, descubrimiento, abstracción o discriminación. A medida que la edad avanza, se empiezan a crear modelos progresivamente, a través de experiencias concretas y con un mediador, se negocian significados, que pueden ser aceptados o no. Finalmente, en la fase adulta, la incorporación de nuevos conocimientos

se da por la interacción, no arbitraria y no literal, con un conocimiento previo, proceso que Ausubel llamó asimilación (Moreira, 2012).

En cambio climático, por ejemplo, los conocimientos previos que podrían contribuir a un AS, incluyen nociones sobre el clima, la contaminación, el uso de los recursos naturales o los cambios percibidos en su contexto local, las cuales pueden actuar tanto como facilitadoras como obstáculo para la construcción de nuevos significados.

En este sentido, el aprendizaje significativo no solo implica activar conocimientos científicos previos, sino también reconocer el papel de los saberes locales, las experiencias comunitarias y las formas culturales de comprender la relación con la naturaleza. (Shepardson & Hirsch, 2020; UNESCO, 2017)

2.1.2 Condiciones para que ocurra el Aprendizaje Significativo

De acuerdo con Ausubel, el Aprendizaje Significativo es un proceso que presupone que tanto el estudiante tenga una actitud de aprendizaje como que el material a ser aprendido debe ser potencialmente significativo para él/ella (Moreira, 2017).

2.1.2.1 Predisposición para aprender. Se refiere a la intencionalidad de la persona para aprender; es decir, su predisposición o actitud para la tarea de lo que debe ser aprendido (Moreira, 2017) y la relevancia que esto tenga para el participante.

El estudiante debe querer relacionar los nuevos conocimientos, de forma no arbitraria y no literal, a sus conocimientos previos. No se debe confundir con *motivación* para aprender sino a relacionar interactivamente los nuevos conocimientos con los anteriores dándole significado a sus conocimientos, modificar los errados y notar la evolución de sus nuevos aprendizajes (Moreira, 2012, 2017).

2.1.2.2 Materiales potencialmente significativos. Es importante enfatizar aquí que el material sólo puede ser potencialmente significativo, no significativo: no existe libro significativo, ni clase significativa, ni problema significativo, pues el significado está en las personas, no en los materiales (Moreira, 2012). Para la selección de materiales potencialmente significativos se recurre a los organizadores previos que permiten una

estructura progresiva y coherente teniendo en cuenta los conocimientos previos iniciales en relación con los contextos culturales y las experiencias de los aprendices.

2.1.3 Organizadores previos

Es un recurso instruccional para organizar y orientar los temas que se estudiarán en el aula. Inicia con una exploración de conceptos globales (nivel alto de abstracción); este insumo sugerirá los materiales educativos para abordar los conceptos específicos que vienen después. Puede ser una clase que precede a un conjunto de clases en la que se hace uso de estrategias acordes a la situación como preguntas problema, una demostración, una película, una lectura, un enunciado, entre otras. Hay dos tipos de organizadores previos, cuando los temas son familiares para el estudiante se hace uso de un organizador comparativo y cuando no es familiar o el estudiante no tiene subsunsores, se hace uso de un organizador expositivo, en todo caso se usan con el ideal de lograr incorporar un nuevo conocimiento a la estructura cognitiva del estudiante (Moreira, 2012).

La diferenciación progresiva y la reconciliación integradora, que son procesos de la dinámica de la estructura cognitiva, también se pueden tomar como principios programáticos del contenido de la materia de enseñanza (Moreira, 2012). Como proceso programático, el contenido curricular debería, inicialmente, estar organizado conceptualmente de manera que se puedan identificar *las ideas más generales*, más inclusivas, los conceptos estructurantes, las proposiciones clave de lo que se va a enseñar, para ir diferenciándolo progresivamente y simultáneamente, hacer reconciliación integradora. Entonces, como principios programáticos la diferenciación progresiva propone la enseñanza con contenidos *de lo general a lo específico* y la reconciliación integradora, *de lo específico a lo general* (Moreira, 2012).

Los organizadores previos están dentro de las estrategias didácticas para facilitar el aprendizaje significativo; otros instrumentos frecuentes propuestos por Novak y Cañas (2008) son los mapas conceptuales útiles para diferenciación progresiva, reconciliación integradora y la conceptualización; y el diagrama de V de Gowin, que relacionan el pensar (dominio conceptual) y el hacer (proceso metodológico) en la producción de conocimientos a partir de cuestiones centrales. Las actividades colaborativas también hacen parte de las

estrategias de Aprendizaje Significativo, pues se promueve la negociación de significados (Moreira, 2012).

2.1.4 Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas: facilitadoras de aprendizaje

En esta investigación se usaron las Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS), propuestas por Moreira (2011); estas se definen como secuencias de enseñanza que facilitan el aprendizaje y están fundamentadas en la Teoría del Aprendizaje Significativo. De acuerdo con el autor, para la construcción de la UEPS se requiere seguir los siguientes pasos:

1. Definición del tema: se especifica el tema identificando sus aspectos declarativos y procedimentales.

2. Exteriorización de conocimientos previos: Crear/proponer situaciones para exteriorizar sus conocimientos previos, pueden ser situaciones problema, mapas conceptuales, lluvia de ideas, noticias, entre otras.

3. Nivel introductorio: Proponer situaciones problema que preparen para la introducción al conocimiento. Aún no se inicia la enseñanza del tema, sino que se prepara al estudiante para que lo perciba como un problema y lo modele mentalmente. Se pueden usar organizadores previos, modelos mentales, simulaciones computacionales, demostraciones, videos, representaciones, problemas cotidianos, noticias etc.

4. Revisión o profundización de conocimientos, se promueve el principio programático de diferenciación progresiva, de aspectos generales a específicos. Se usan herramientas como videos, simuladores, artículos.

5. Nueva situación problema – nivel más alto de complejidad: promover el principio programático de reconciliación integradora, destacar semejanzas y diferencias en relación con las situaciones ya trabajadas. Proponer interacción social entre compañeros para negociar e intercambiar significados, puede usarse resolución de problemas, mapa conceptual o diagrama V, experimentos, pequeño proyecto etc.

6. Concluyendo la unidad: se da continuidad al proceso de diferenciación progresiva y la reconciliación integrativa. Se puede usar diversidad de estrategias, pero se promueven nuevas situaciones problema, en un nivel más alto de complejidad con relación a los

anteriores. Estas situaciones deben ser resueltas en actividades colaborativas con mediación del docente.

7. Evaluación del aprendizaje del estudiante: debe ser a lo largo de la implementación de la UEPS, buscando evidencia de Aprendizaje Significativo. La evaluación debe ser sumativa, que implique comprensión y captación de significados y alguna capacidad de transferencia y evaluación formativa (progreso del estudiante, situaciones, tareas resueltas colaborativamente, registros del profesor).

8. Evaluación de la UEPS: los estudiantes evalúan la UEPS. Solo es exitosa si los estudiantes suministran evidencias de aprendizaje significativo (captación de significados, comprensión, capacidad de explicar, de aplicar el conocimiento para resolver situaciones problema). El Aprendizaje Significativo es progresivo, por eso el énfasis es en evidencias.

2.1.4.1 Uso de UEPS en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Las UEPS han sido utilizadas en varias disciplinas científicas, por ejemplo, en química, física, biología y matemáticas. En lo que sigue, se presentan algunas experiencias de la implementación de las UEPS.

Souza y Pinhero (2018) sostienen que el objetivo de la UEPS fue organizar y sistematizar el proceso de enseñanza, ofreciendo materiales y procedimientos capaces de desarrollar un aprendizaje significativo en diferentes contextos. Las autoras reconocen el potencial de la herramienta para organizar los procesos de enseñanza – aprendizaje.

Souza dos Santos (2018) utilizó la UEPS en el aprendizaje de las propiedades de los gases asociados a la vida cotidiana de los estudiantes; para esto, utilizó lecturas donde se problematizó la química en el efecto invernadero y en el que se logró demostrar que la química es una ciencia que no es ajena a su realidad.

Echeverry Franco (2018), construyó una UEPS mediada por las TIC y con diversidad de actividades como el uso de laboratorios y simuladores, para tratar el tema de las disoluciones químicas, logrando un aprendizaje significativo evidenciado en la aplicabilidad del tema en diferentes contextos.

Romero Mahecha (2022) implementó la UEPS como un instrumento que permitió involucrar diferentes estrategias y recursos para abordar conceptos de carácter complejo

como los agujeros negros; de tal forma que los estudiantes a partir de sus conocimientos previos lograron nuevos aprendizajes.

Cohen y Moreira, (2019) notaron que el uso de UEPS con actividades expositivas/dialogadas y de resolución de problemas, estimularon el diálogo, la crítica y la discusión de significados. La UEPS facilitó la organización de conocimientos; la resolución de problemas y la guía de los procedimientos. Esto ayudó a mejorar la evolución de la conceptualización del campo magnético acercándose al concepto científicamente aceptado.

Molina et al., (2011) reconoce que, aunque la implementación de UEPS en el aula de clase ha favorecido el aprendizaje significativo de las ciencias, se requiere tiempo para la elaboración de la secuencia en detalle.

2.2 Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico

La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) propuesta por Moreira (2005), se origina a partir de algunas de las ideas de Postman y Weingartner, dos educadores, que promovieron la enseñanza "subversiva", entendiéndose como subversivo el enfoque crítico, creativo y autónomo, de curiosidad y problematización.

Esta teoría permite potenciar las habilidades cognitivas de los estudiantes y, en consecuencia, su formación para enfrentar los desafíos mundiales, con capacidades de indagación, argumentación y proposición suficientes en la construcción de estrategias y acciones para combatir los desafíos cotidianos que requieren soluciones humanas a corto, mediano y largo plazo (Moreira, 2005).

La TASC es una teoría constructivista, cuya finalidad es favorecer la construcción de conocimientos que, además de ser significativos, útiles y estables, sean reflexivos y críticos; es decir, que permita a los estudiantes enfrentar de forma constructiva los cambios.

El Aprendizaje Significativo Crítico (ASC) se constituye en un referente educativo de aprendizaje no mecánico, que permite a los estudiantes acercarse a los fenómenos y enfrentar los problemas cotidianos para proponer alternativas de solución. Esta teoría busca que el estudiante se cuestione, promueva su curiosidad, sea un participante activo, genere iniciativas, sea creativo y asuma una postura crítica desde su propia experiencia a través de herramientas que propicien condiciones para los desafíos de un mundo en constante

transformación. Por otro lado, invita al docente a adoptar una nueva visión de educar, creando escenarios amigables, donde la enseñanza/aprendizaje sea continua, para todos y provenga de todos (Moreira, 2005).

El ASC está centrado en el alumno, quien es responsable de su propio aprendizaje, el profesor actúa como mediador proponiendo situaciones, pero es el estudiante el que construye su propio conocimiento cuando interactúa con sus pares en actividades de diversa naturaleza para resolver situaciones colaborativamente mediante la negociación de significados (Moreira, 2012).

Para lograrlo, propone una enseñanza que facilite el aprendizaje significativo desde una perspectiva de interacción cognitiva y social, de progresividad y de criticidad; en la que el estudiante sea capaz de “integrarse a la sociedad y ser crítico de ella, y distanciarse de ella y de sus conocimientos cuando esté perdiendo el rumbo”. De este modo, los estudiantes podrán enfrentarse a un mundo en constante cambio, promoviendo la participación individual y colectiva, para reconocer la realidad y vivir la experiencia (Moreira, 2017).

El ASC se concreta en el aula. En estos procesos, los instrumentos para reconocer el conocimiento previo y para construir el aprendizaje significativo juegan un papel fundamental. Es entonces cuando se consideran los postulados de Gowin, con el diagrama V, y los de Novak, con los mapas conceptuales, como recursos que, de llevarse a cabo colaborativamente, permiten una negociación de significados que facilita la construcción de conocimientos en el aula.

La evaluación del ASC tiene en cuenta el progreso del estudiante, por lo tanto, atiende a una evaluación formativa, que se va dando a medida que ocurre el aprendizaje (en progreso) y es recursiva, pues permite que el estudiante rehaga las tareas de aprendizaje, que aprenda del error como factor de aprendizaje.

Para alcanzar un ASC, Moreira (2005) propone unos principios que facilitarán su consecución desde el aula.

2.2.1 Principios facilitadores del Aprendizaje Significativo Crítico

En 2005, Moreira postula 9 principios para facilitar el aprendizaje significativo crítico de los estudiantes. A continuación, se describe cada principio:

- *De la interacción social y del cuestionamiento*: Aprender a construir preguntas a partir de la estimulación de la curiosidad. La interacción social entre docente-estudiantes y estudiante-estudiante, enfatizando en el intercambio de preguntas, permite negociar significados. Cuando se aprende a formular preguntas relevantes, apropiadas y sustantivas, se aprende a aprender, se aprende a discernir de la cantidad de información que se encuentra”.

- *De la no centralización en los libros de texto*: Uso de documentos, artículos y diversos materiales educativos. Seleccionar cuidadosamente las herramientas pedagógicas y didácticas, acordes con la situación a resolver.

- *Del aprendiz como perceptor/representador*: Proceso dinámico de interacción, diferenciador e integrador. El estudiante representa lo que percibe y lo asocia con lo que está previamente en su mente.

- *Del conocimiento como lenguaje*: La clave de la comprensión de un conocimiento es conocer su lenguaje. Un lenguaje no solo de palabras, también de signos, instrumentos y procedimientos. Aquí confluyen otros principios: el de cuestionamiento con la negociación de significados y el de percepción, pues percibir ese nuevo lenguaje le da herramientas para percibir el mundo de manera diferente. El lenguaje es el mediador de toda percepción humana; lo que percibimos es inseparable de lo que abstraemos. El ser humano vive en el lenguaje. Por tanto, el lenguaje es esencial en la facilitación del aprendizaje significativo. Las palabras son signos lingüísticos y de ellas dependemos para enseñar cualquier conocimiento (Moreira, 2010)

- *De la conciencia semántica*: El significado está en las personas, no en las palabras. Cuando el aprendiz no puede atribuir significado a las palabras (o no quiere hacerlo) el aprendizaje es mecánico. “La palabra significa la cosa, no es la cosa”.

- *Del aprendizaje por el error* (no por ensayo y error): Buscar sistemáticamente el error es aprender a aprender, rechazando certezas, encarando el error como algo natural y aprendiendo en torno a su superación.

- *Del desaprendizaje*: El nuevo conocimiento interactúa con el conocimiento previo y se ancla en él (asimilación, llamado así por Ausubel). Sin embargo, cuando el conocimiento previo impide aprender algo nuevo, debe haber un proceso de desaprendizaje. El desaprendizaje es importante en un mundo en permanente y rápida transformación; un “olvido selectivo”. Aprender a distinguir entre lo relevante e irrelevante.

- *De la incertidumbre del conocimiento*: Síntesis de los anteriores principios que tienen que ver con el lenguaje, las definiciones, preguntas y metáforas, son fundamentales para construir la visión del mundo. Será crítico cuando el aprendiz perciba que son invenciones o creaciones humanas que tienen su origen en preguntas, que son las que nos definen el conocimiento. Las metáforas contribuyen a comprender la ciencia.

- *De la no utilización de la pizarra*: Participación activa de los alumnos y diversidad de estrategias de enseñanza.

Moreira (2010) incorpora otros dos principios facilitadores del ASC:

- *Del conocimiento previo*: “Aprendemos a partir de lo que ya sabemos. El conocimiento previo es la variable más influyente en el aprendizaje significativo” (Moreira, 2010, p. 35)

- *Del abandono de la narrativa*: Enseñanza centrada en el alumno para aprender a aprender y para el ASC. Dar clases con la boca cerrada, refiriéndose a buscar alternativas para enseñar. La narrativa transmite conocimiento y evalúa memorización, repetición de conceptos y comportamientos que no implican comprensión o atribución de significados (aprendizaje mecánico). El abandono de la narrativa promueve la participación activa del estudiante; el profesor narra menos, el estudiante habla más. El alumno es responsable de su propio aprendizaje. Priman las actividades colaborativas entre estudiantes, y hay negociación de significados. Promueve una evaluación formativa.

En el año 2021 se incluyen dos principios más (Chirone et al., 2021b):

- *De la superación de dificultades*: Aprender/enseñar que las dificultades de aprendizaje se superan ya sea con la ayuda de personas o con materiales didácticos.

- *De la retroalimentación*: El docente refuerza la comprensión del objeto de estudio del alumno.

López, (2014), clasificó los 9 principios propuestos inicialmente en tres categorías:

- *Principios conceptuales y disciplinares*: que buscan favorecer y poner en juego el dominio de un determinado campo de conocimiento e incluyen los principios de

interacción social y cuestionamiento, el de conocimiento como lenguaje, el de percepción y representación

- *Principios pedagógicos y didácticos:* buscan la participación activa de los estudiantes, entre ellos están los principios de la no centralización del libro de texto y abandono de la pizarra

- *Principios epistemológicos:* son los que buscan una visión del conocimiento científico como invención o construcción humana incierta y provisional, y en permanente evolución; están los principios de la conciencia semántica, del desaprendizaje, del aprendizaje por error, de la incertidumbre del conocimiento.

2.3 El cambio climático

En la formación del clima intervienen los Gases de Efecto Invernadero (GEI) naturales que capturan del sol el calor necesario para que haya vida en el planeta. Los GEI son, principalmente, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el vapor de agua. El cambio climático, es un fenómeno que está fuertemente asociado a la acumulación excesiva de GEI, que se han incrementado debido, primariamente, al uso desmedido de los combustibles fósiles (sustancias derivadas del ciclo carbono y que producen CO₂) y son los recursos más explotados para lograr los avances tecnológicos conseguidos con la cuarta revolución industrial (Canadell et al., 2021).

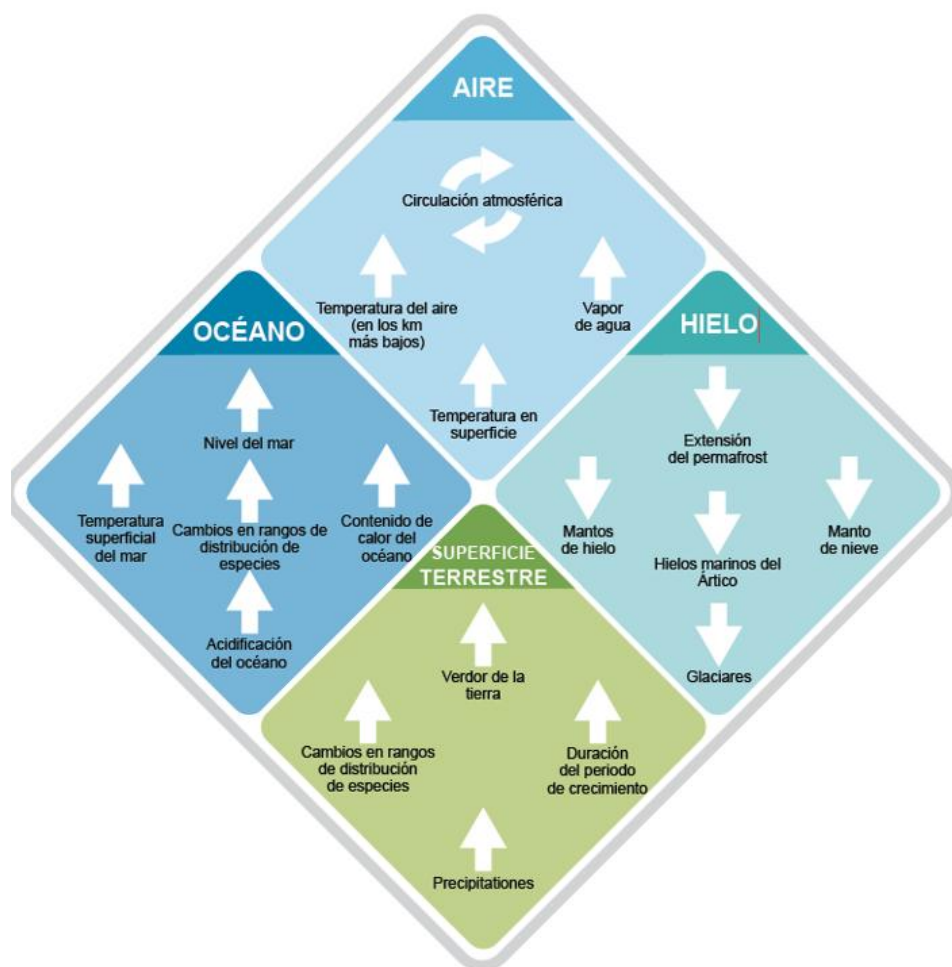
Los niveles de GEI en la atmósfera siguen creciendo debido a las emisiones antropogénicas. Las concentraciones de CO₂ están en su máximo nivel desde al menos 2 millones de años, y las de CH₄ y N₂O en su máximo nivel desde al menos 800.000 años. En 2019 los incrementos fueron de 47%, 156%, y 23%, respectivamente, arriba de los niveles en 1750 (representativo de la era pre-industrial) (Canadell et al., 2021).

Durante la última década, la media global anual de emisiones antropogénicas de CO₂, CH₄ y NO₂, registran altos niveles en la historia de la humanidad; en Carbono 10.9 ± 0.9 Petagramos de C (PgC) entre 2010–2019, 335–383 teragramos (TgCH₄) de metano por año, entre 2008–2017, y 4.2–11.4 teragramos de Nitrógeno por año (TgN) entre 2007–2016. De esta cantidad, el CO₂ se obtuvo de la quema de combustibles fósiles y la producción de

cemento y del cambio de uso de la tierra incluyendo deforestación, aforestación y reforestación (Canadell et al., 2021).

Naturalmente, el CO₂ atmosférico se remueve con los procesos naturales de fotosíntesis – respiración, amortiguación del agua del mar, reacción con carbonato de calcio y la meteorización por silicatos. No obstante, las alteraciones antrópicas de los sistemas naturales en las que se destacan la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el manejo inadecuado de residuos, ha causado un desequilibrio en el intercambio de carbono entre la atmósfera, la tierra y los océanos; los procesos naturales no alcanzan a equilibrar la cantidad de CO₂ atmosférico, este se acumula en la atmósfera, no puede salir de ella y se incrementa la temperatura del planeta causando el calentamiento global (Canadell et al., 2021).

La alteración antrópica de los ciclos de la naturaleza tiene consecuencias, que, si no se detienen o mitigan a tiempo, tienen efectos adversos, graves, altamente perjudiciales para los seres que habitamos el planeta. Los cambios observados en el sistema climático desde finales del siglo XIX revelan un mundo más cálido (Figura 1) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021b)

Figura 1.*Cambios en el sistema climático desde finales del siglo XIX*

Fuente: El calentamiento global ha desencadenado cambios generalizados en todo el sistema climático. Las cuatro partes principales del sistema climático (el aire, el océano, la tierra y las áreas de hielo) están experimentando cambios generalizados. Km = kilómetros. Gráfico adaptado de IPCC AR6 Working Group I FAQ 2.2, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-2/>

Por ejemplo, la temperatura media global de la superficie entre 2011 – 2020 fue 1.1 °C más alta que la temperatura promedio del siglo XIX (antes de la revolución industrial) y más alta que en cualquier momento en los últimos 100.000 años. Cada una de las últimas 4 décadas ha sido más cálida que la década anterior. El planeta se está calentando más rápido que en cualquier momento previo desde, al menos, los últimos 2000 años (IPCC, 2021a).

Durante el mismo período, el nivel del mar global ha aumentado en 10 a 20 cm. Estos incrementos no han sido lentos en el tiempo, ni uniformes en todo el mundo (IPCC, 2021b).

El cambio climático está generando graves consecuencias evidenciadas en derretimiento de los polos, incremento del agua del mar, lluvias que provocan inundaciones o sequías extremas, pérdida de la biodiversidad, acidificación de los océanos, entre otros. (IPCC, 2021a)

La situación descrita es grave, pues el clima se forma de un conjunto de condiciones atmosféricas en una región por largos periodos de tiempo (mínimo 30 años) y define dónde vivir, qué cultivar, cómo construir, cómo vestirse, entre otros; cuando el clima cambia estos factores se ven afectados y traen consecuencias que derivan en dificultades económicas, políticas, ambientales y sociales. Por ejemplo, una sequía junto con un calor extremo aumentará el riesgo de incendios forestales, la muerte del ganado o la pérdida de cosechas. Con un nivel medio del mar más alto, una tormenta severa aumentará el riesgo de que se generen simultáneamente un aumento extremo del nivel del mar y lluvias intensas, aumentando por lo tanto el riesgo de inundaciones costeras (IPCC, 2021a).

2.3.1 Causas y evidencias del cambio climático en Colombia, Antioquia y Envigado

Las emisiones de CO₂, uno de los GEI más relevantes en la actualidad, se da por deforestación. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) et al., (2016), el 74% de las emisiones a nivel nacional corresponden al sector forestal, pues debido a la deforestación, el terreno se convierte en pastizal y se da otros usos a la tierra. A este sector le sigue la quema de combustibles fósiles en el sector transporte y en la industria de minerales no metales, la industria manufacturera, la de minas y energía con termoeléctricas y la refinación de petróleo. Los sectores residenciales y comerciales contribuyen en las emisiones de GEI por el uso de refrigerantes (IDEAM et al. 2016).

Como consecuencia de las alteraciones climáticas, en el país se vienen notando variaciones en la geografía del área glaciaria; entre 1940 y 1985 desaparecieron 8 glaciares en Colombia. Entre el año 2010 y 2019 se perdió 20.8% del área glaciaria de los nevados y en los años 2017 y 2019 hubo una reducción del 3,5%, principalmente, en el nevado del Ruiz y en la sierra nevada de Santa Marta. Llama la atención la disminución del 48% del área glaciaria del nevado Santa Isabel, en un periodo de 3 años (2016 – 2019), que pone a este nevado en una situación de crisis ambiental grave. En general, la tendencia es hacia el deshielo,

probablemente por los cambios climáticos globales o locales, la topografía y las condiciones volcánicas activas, las variaciones climáticas como el fenómeno de la niña 2010 – 2011 y el niño 2015 – 2016, con precipitaciones excesivas o sequías extremas, son cada vez más fuertes, trayendo consigo inundaciones, deslizamientos, escasez de agua, entre otras (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020).

Aunque Colombia solo aporta el 0.4% de GEI a nivel mundial, las acciones para disminuir y mitigar el cambio climático se deben hacer de manera colectiva. Antioquia es uno de los departamentos de Colombia que más GEI aporta a nivel nacional; pues, debido a su heterogeneidad geográfica, tiene desarrollo económico en todos los sectores y por ende su contribución a los GEI son mayores. La mayor contribución a los GEI se da por la quema de combustibles fósiles para el transporte terrestre, aproximadamente, un 74% de las emisiones totales, la industria mineral no metálica, la industria alimenticia, de bebidas y tabaco, en el sector manufacturero, en el sector agropecuario con porcinos, bovinos y avícolas. Las absorciones de GEI están dadas principalmente por el cultivo de café (IDEAM et al., 2016).

A nivel local, en el municipio de Envigado, perteneciente al área metropolitana del valle de Aburrá, se registran algunos factores que inciden en el incremento de GEI: fragmentación de ecosistemas para megaproyectos urbanísticos, crecimiento urbano de alta densidad, la extracción minera, consumo excesivo y mala disposición de residuos orgánicos e inorgánicos (Higueta, 2017).

Por esta razón, es indispensable que los estudiantes conozcan su territorio y comprendan las diferentes causas y consecuencias que el fenómeno acarrea y puedan hacer frente a esta problemática cada vez más evidente.

2.4 Educación para el cambio climático:

Hasta el momento no hay un significado en consenso de lo que abarca la Educación para el Cambio Climático (en adelante ECC). Stevenson et al., (2017) en el documento *What Is Climate Change Education?* resaltan los atributos que le confieren algunos autores a la ECC, por ejemplo,

- McKeown y Hopkins (2010) describen que la ECC está comprendida de dos partes: el clima y el cambio. El clima que involucra las ciencias naturales mientras que el cambio o educación para el cambio, involucra las ciencias sociales y humanas.
- Selby & Kawana (2013) argumentan que la ECC requiere de un aprendizaje holístico social que sea flexible e incorpore el aprendizaje con la acción dentro de los contextos comunitarios locales. Las clases deben estar orientadas hacia tomar desafíos de repensar el mundo.
- Wals (2011) considera que la ECC requiere un aprendizaje basado en la investigación, reflexión, creación y participación que permitan el desarrollo de competencias que sean transferibles a situaciones nuevas, inciertas y aún desconocidas o mal definidas.
- Ojala (2015) plantea que la ECC debería focalizar su atención sobre el futuro y los posibles caminos hacia un futuro sostenible para promover la esperanza en los estudiantes.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, Stevenson et al. (2017) consideran que la ECC exige un enfoque en el tipo de aprendizaje, pensamiento crítico y reflexivo y desarrollo de capacidades que les permitirá a los jóvenes interactuar con la información, preguntar críticamente, comprender y tomar decisiones frente a las situaciones que se presenten con el fenómeno. La resolución de problemas de manera colaborativa e innovación, desde varias dimensiones, ambientales, sociales, económicas, políticas y educativas.

La UNESCO, & University of Saskatchewan (2024) en su documento “*Educación y cambio climático: Aprender a cuidar de las personas y el planeta*”, resalta la idea de que en:

“Los planteamientos educativos para el cambio climático se debe tener en cuenta la necesidad de superar los factores psicosociales que dificultan la acción, como el sentimiento de desolación, ansiedad o impotencia. Para ello es fundamental el aprendizaje basado en la acción, la experiencia y la colaboración. Asimismo, las actividades de educación y comunicación deben ser flexibles y amoldarse a una diversidad de personas, comunidades y sectores”

2.4.1 Referentes histórico- institucional del Cambio Climático

A nivel internacional, los referentes que sustentan las bases legales, políticas y éticas de la ECC se han conformado a través de diversos programas y organizaciones que se han consolidado a lo largo del tiempo. A continuación, se presenta un recorrido por los principales hitos institucionales y políticos en torno al cambio climático. Si bien todos no constituyen en sí mismos propuestas educativas, fueron dando pautas que mostraron la necesidad de su abordaje todos los niveles escolares, hasta que, en la cumbre de Rio, se consolida la propuesta formal en el ámbito educativo. En la Tabla 1 se presentan los programas y organizaciones que han promovido acuerdos en materia de investigación y educación, orientados a la mitigación y reducción de los impactos asociados a este fenómeno (UNESCO, 2020).

Tabla 1.

Marco histórico-institucional del cambio climático

Año	Programa y/u organización	Función
1988	el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM)	Crearon el Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático (IPCC)
1988	IPCC	Facilitan evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. De este grupo hacen parte 195 países. Los Grupos de trabajo se reúnen en sesión plenaria a nivel de representantes de los gobiernos
	IPCC (grupo 1)	Se ocupa de las bases físicas del cambio climático
	IPCC (grupo 2)	Impacto del cambio climático y de la adaptación y la vulnerabilidad relativas a él.
	IPCC (grupo 3)	Mitigación del cambio climático
1992	La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	- El cambio climático como fenómeno ambiental que genera crisis en el planeta. - Definición: “ <i>un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables</i> ”

		- Se dio el principal tratado internacional contra el cambio climático para prevenir interferencias peligrosas del hombre en el clima. (UNESCO, 2020).
	Grupo especial sobre los inventarios nacionales de GEI	Formular y perfeccionar una metodología para el cálculo y la notificación de las emisiones y proponer alternativas de remociones de dichos gases (IPCC, 2021a).
	Cumbre de Rio (artículo 6)	Dedicado a la educación, la formación, la sensibilización del público y el acceso a la información relacionada con el CC, los objetivos de este artículo están encaminados a fomentar un mejor entendimiento y habilidad para conducir el CC y sus efectos, promover un compromiso comunitario, creativo y de conocimiento para encontrar soluciones al cambio climático y comprometer a todas las partes interesadas. El trabajo colaborativo es indispensable para responder colectivamente a los cambios climáticos.
1997	Protocolo de Kioto	Los países participantes se comprometen a reducir emisiones de GEI; no obstante, los mayores emisores no hacen parte de estos acuerdos.
2015	Conferencia de París COP 21 (Francia)	Se reafirma la importancia de la educación, el entrenamiento o capacitación y el compromiso público, esta conferencia se llevó a cabo en París.
2015	ODS → United Nations (Nueva York)	- Se plantean los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de los cuales el No 13 se orienta a “acciones por el clima” - En este objetivo se reconoce que la crisis climática está relacionada con otras cuestiones de alcance mundial. - En ambientes escolares, la UNESCO propone incorporar en todas las instancias de la comunidad educativa, acciones para reducir los efectos del cambio climático y trabajar este fenómeno desde la interdisciplinariedad, para permitirse diferentes enfoques y alternativas de mitigación, con estrategias en contexto que aproximen a los estudiantes a un mundo real. Le apunta a desarrollar en los estudiantes criticidad, creatividad y anticipación, que indague, busque alternativas y se prepare para los nuevos retos y desafíos. (UNESCO, 2017).
2016	UNESCO y CMNUCC “Programa Doha”	Publica “<i>Action for Climate Empowerment (ACE). Guidelines for accelerating solutions through education, training and public awareness</i>”; en ella se relacionan los acuerdos internacionales pactados para contribuir a aminorar los efectos del cambio climático. - Cada país debe diseñar su propia estrategia nacional de empoderamiento climático atendiendo a sus condiciones específicas

A continuación, se detallan los lineamientos educativos enmarcados en los referentes internacionales para la enseñanza/aprendizaje del cambio climático.

1. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) _ Cumbre de Río: Artículo 6 (1992) promueve la educación, formación, sensibilización y acceso a la información climática.

La Unesco elabora la guía para secundaria *Climate change in the classroom* que promulga que la ECC debe estudiarse desde diferentes disciplinas como las ciencias naturales, ciencias sociales, ética, ciencias políticas y económicas; desde una perspectiva teórica y práctica y se tienen en cuenta las percepciones, conocimientos y experiencias personales previas, antes de introducir el tema, después, se analiza la intervención humana y las interrelaciones con sus impactos en la vida. También se busca que adquieran una comprensión de los procesos de aprendizaje interactivos, participativos y experienciales que exige la ECC (Selby & Kagawa, 2013).

Se integran temas como la justicia intergeneracional y la responsabilidad, pues, así como las generaciones anteriores moldearon el presente, la generación actual moldeará el futuro (deseable o no) y serán los puntos de partida en los que participará la comunidad.

Con respecto a la mitigación y adaptación se incorporan los conceptos de resiliencia y vulnerabilidad se establecen estrategias comunitarias de reducción de riesgos de desastres.

Se promueve el aprendizaje del CC basado en la comunidad y la escuela para construir una cultura de seguridad y resiliencia. Se adopta una perspectiva global, explorando el cambio climático como un fenómeno complejo de alcance mundial e integrando temas transversales como el género, la salud, los derechos humanos, la paz y la justicia social y, finalmente, busca transformar esas emociones individuales y colectivas en sentido de propósito y empoderamiento, para actuar contra el fenómeno.

2. Acuerdo de París (2015): En su artículo 12 se reconoce la importancia de la educación, la formación y la sensibilización como estrategias para enfrentar el cambio climático. De manera paralela, en ese mismo año, la United Nations adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establecen los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos el ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 4 (Educación de calidad). En este contexto, la UNESCO ha propuesto enfoques educativos que integran dimensiones cognitivas, socioemocionales y conductuales para abordar el cambio climático desde una perspectiva formativa (UNESCO, 2017) (Tabla 2).

Tabla 2.*Objetivos de aprendizaje para el ODS 13 "Acción por el clima" (UNESCO, 2017)*

Cognitivos	Socioemocionales	Conductuales
1. El efecto invernadero como un fenómeno natural causado por una capa aislante de gases de invernadero.	1. Explicar las dinámicas del ecosistema y el impacto ambiental, social, económico y ético del cambio climático.	1. Evaluar si sus actividades privadas y profesionales respetan o no el clima, y, si no lo hacen, de revisarlas.
2. El cambio climático: fenómeno antropogénico causado por el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero.	2. Motivar a otros a proteger el clima.	2. Actuar en favor de personas que se ven amenazadas por el cambio climático.
3. Actividades humanas a nivel mundial, nacional, local e individual contribuyen más con el cambio climático.	3. Colaborar con otros para diseñar estrategias comunes para abordar el cambio climático.	3. Anticipar, estimar y evaluar el impacto de las decisiones o actividades personales, locales y nacionales sobre otras personas y regiones del mundo.
4. Principales consecuencias ecológicas, sociales, culturales y económicas del cambio climático a nivel local, nacional y mundial, y comprende cómo estas pueden convertirse en factores catalizadores y reforzadores del cambio climático.	4. Comprender su impacto personal en el clima mundial, desde una perspectiva local hasta una perspectiva mundial.	4. Fomentar las políticas públicas para la protección del clima.
5. Estrategias de prevención, mitigación y adaptación a distintos niveles (desde nivel mundial a individual) y para distintos contextos, así como sus vínculos con la respuesta en caso de desastres y la reducción del riesgo de desastres.	5. Reconocer que la protección del clima mundial es una tarea esencial de todos, y que tenemos que reevaluar nuestra visión del mundo y nuestras conductas diarias a la luz de esto.	5. Apoyar actividades económicas que respeten el clima.

Cabe mencionar que en la propuesta realizada por la UNESCO (2017) se presentan algunas categorías cognitivas de enseñanza, sin profundizar en los conceptos alusivos al fenómeno. Sin embargo, en la metodología de enseñanza, se sugiere la *participación activa* del estudiante en el diseño de estrategias, la motivación, la colaboración en la protección colectiva del clima, además, de ser críticos de diferentes situaciones como la evaluación del impacto del fenómeno, de las amenazas a las personas más vulnerables, analizar las decisiones que toman las personas que influyen en el cambio climático y apoyar las decisiones económicas que respeten al clima (UNESCO, 2017).

3. Estrategia de Doha sobre Acción para el Empoderamiento Climático (ACE)
(UNESCO, & United Nations Framework Convention on Climate Change., 2016). En esta

propuesta se definen seis áreas de acción: educación, formación, sensibilización pública, participación, acceso a la información y cooperación.

La ACE es clave para lograr transformaciones profundas en actitudes, conocimientos y comportamientos de los estudiantes. Esta fue creada para apoyar la implementación del Acuerdo de París y la Agenda 2030, en especial los ODS 4 y 13, con el fin de articular acciones formales, no formales e informales apoyadas en redes y alianzas regionales y globales.

De acuerdo con la ACE cada país diseña una estrategia atendiendo a sus condiciones específicas. Dentro de los beneficios de la ACE están el mapeo de diagnóstico territorial para priorizar acciones e identificar las metas, además, de la alianza con políticas públicas y la gestión de financiación para planes y proyectos.

Los seis elementos clave de ACE están establecidos en el artículo 6 del CMNUCC y el Artículo 12 del Acuerdo de París:

1. **Educación:** incorporar el cambio climático en los currículos, formación de docentes, generación de pensamiento crítico.
2. **Capacitación:** desarrollar habilidades técnicas aplicables, como inventarios de GEI y tecnologías sostenibles.
3. **Sensibilización pública:** campañas mediáticas para fomentar actitudes y decisiones climáticas responsables.
4. **Participación ciudadana:** integración de diversos actores en toma de decisiones y ejecución de políticas.
5. **Acceso a la información:** transparencia y disponibilidad de datos ambientales y climáticos.
6. **Cooperación internacional:** intercambio de conocimientos, recursos y buenas prácticas entre países.

A partir de los hitos institucionales, es posible reconocer que la ECC no surge de manera paralela al desarrollo científico y político del campo, sino que se va configurando posteriormente en un proceso que implica desafíos pedagógicos, epistemológicos y curriculares. Entre estos, se encuentran la necesidad de adaptar conocimientos complejos a

contextos escolares, articularlo con su cultura, sus saberes previos y vincular a la comunidad para orientarlos a la acción. (Selby & Kagawa, 2013; UNESCO, 2017; IPCC, 2021a).

2.4.2 Política pública Nacional de cambio climático en Colombia.

En Colombia se han generado compromisos internacionales y nacionales para contribuir a la mitigación del CC. El país está inscrito en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), acuerdo firmado en 1992, también participa del IPCC.

En el decreto 298 del 24 de febrero de 2016, se establecen directrices para la gestión del cambio climático. En el artículo 4, se menciona al Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA), como el conjunto de políticas, normas, procesos, entidades estatales, privadas, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información atinente al cambio climático, que se aplica para gestionar la mitigación de gases efecto invernadero y la adaptación al CC (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MASD), 2017). La coordinación nacional del SISCLIMA está a cargo de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC). Además, se promueve la creación de los grupos de diseño de los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Sectorial y Territorial (PIGCCS) y (PIGCCT), respectivamente.

Se crea el registro Nacional de Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (RENARE) como uno de los instrumentos necesarios para la gestión de información de las iniciativas de mitigación de GEI. Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF), el Inventario Forestal Nacional (IFN), y el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Estos instrumentos proveerán la información para el Sistema Nacional de Información sobre CC al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Con respecto a la ECC, en el año 2017 se promulga la política nacional de cambio climático, en ella se mencionan los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) como los articuladores de la educación ambiental en las Instituciones educativas de primaria, secundaria y media, que podrían atender el fenómeno del cambio climático. Sin embargo, no se muestran instrucciones para su incorporación (MASD, 2017).

2.4.3 Educación ambiental o educación científica ¿Dónde se encuentra la educación para el cambio climático?

Aunque la propuesta de educar para el Cambio Climático (CC) a nivel internacional lleva más de 15 años, llama la atención que, en algunos países del mundo y a nivel nacional aún no se incluya el estudio del fenómeno formalmente en los currículos de educación ambiental (o de Educación para el Desarrollo Sostenible EDS), ni de educación científica en las instituciones educativas. Si bien varios países han intensificado las políticas educativas y los planes de estudio en relación con el cambio climático, los esfuerzos siguen siendo insuficientes, pues no se designan recursos para la inclusión del fenómeno, para capacitación y formación docente y para las actividades previstas para su aprendizaje (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

2.4.3.1 La educación ambiental y el cambio climático. De acuerdo con la hoja de ruta de la UNESCO (2020), en atención a las crisis ambientales y sociales detectadas desde la década de los 60 se estableció, como compromiso intergubernamental, la política de Educación Ambiental (EA). Históricamente, la EA inicia en el club de Roma (1968) y en la conferencia de Estocolmo (1972) donde se mencionan los conceptos de hábitat y medio ambiente y se considera su protección; después, se empezaron a crear programas como el de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA (1974) y el Programa Internacional de Educación Ambiental PIEA (1975) para crear herramientas de protección dentro de la escuela y fuera de ella.

En 1977, en la conferencia de Tbilisi, se acuña la definición de EA como un proceso que permite a las personas tomar conciencia de su entorno, adquirir conocimientos, valores, actitudes, compromiso y habilidades para actuar individual y colectivamente en la solución de problemas ambientales presentes y futuros.

En el Informe Brundtland (1987) se considera el concepto *Desarrollo sostenible* DS aludiendo al consumo de recursos provenientes de la tierra para continuar los procesos industriales; recursos para el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin agotar

los recursos de las generaciones venideras. El DS y EA van encaminadas a la formación participativa, autónoma, creativa, responsable y gestionaia.

En el encuentro de Moscú (1987) se considera la EA con enfoque interdisciplinar y de integración. Se define la EA como *“proceso en el que los individuos y las colectividades se hacen conscientes de su entorno a partir de los conocimientos, los valores, las competencias, las experiencias y la voluntad para actuar individual y colectivamente para resolver problemas ambientales presentes y futuros”*.

En el seminario de Malta y el Cairo (1991) se sugiere la incorporación de la EA al currículo de primaria y bachillerato.

En la cumbre de Río (1992) se empiezan a considerar problemas mundiales para que sean abordados en la EA y en la Educación para el Desarrollo Sostenible, en la agenda 21 se incluye al cambio climático como un fenómeno a atender en educación, formación, sensibilización del público e información. A partir de allí, se ha insistido en el abordaje del fenómeno del cambio climático. En el 2015, se convirtió en un objetivo de desarrollo sostenible (ODS 13) cuya agenda propone hacer estimaciones de impacto en el 2030 (UNESCO, 2020).

Estas iniciativas hacen pensar que los países han adoptado la EA o EDS para abordar problemáticas ambientales; sin embargo, en 78 documentos correspondientes a planes de estudio y políticas educativas de 46 países, muestran que solo un 12% mencionan a la EA o al EDS (UNESCO, 2021) y específicamente, el CC y de pérdida de la biodiversidad, solo son mencionados en un 57% y 19%, respectivamente y no se incluyen directamente dentro de los planes de estudio, solo se mencionan algunos conceptos asociados de manera muy somera dentro de biología, ciencias y geografía, no en una asignatura independiente (UNESCO, 2021). En EEUU, los problemas ambientales se atienden dentro de los estándares de ciencias (NGSS Lead States, 2013).

En Colombia, en el año 2003 se creó la política pública de Educación ambiental (Ministerio de Educación Nacional & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003). En ella la EA en la educación primaria, secundaria y media, está incluida en las ciencias naturales.

Sin embargo, es preciso mencionar que desde 1994, se propusieron los Proyectos Ambientales Escolares PRAE, obligatorios para las instituciones educativas, que buscan

identificar las necesidades de cada contexto para actuar en correspondencia a cada situación (MEN, 2003). No obstante, después de más de dos décadas de implementarse los PRAE a los planes de estudio nacionales, no se alcanzan a percibir resultados impactantes con esta estrategia, precisamente por la debilidad conceptual sobre los ejes transversales, escasa interdisciplinariedad y una brecha entre lo estipulado en el currículo nacional y lo que se hace en las IE (Henaó Hueso y Sánchez Arce et al., 2019). El estudio del cambio climático bajo los PRAE queda sujeto a la iniciativa del maestro, abordado de manera superficial (porque los lineamientos no son claros) y con dificultad para medir el impacto.

2.4.3.2 El cambio climático y la educación científica: En algunos países del mundo y a nivel nacional, aun no se incluye el estudio del fenómeno formalmente en los currículos de ciencias de las instituciones educativas. De acuerdo con la UNESCO (2021), el 46% de 78 planes de estudio de ciencias naturales analizados para América del Norte, América latina y el Caribe, Asia, África y Europa, mencionan algunos temas alusivos a temas ambientales y de cambio climático, pero con muy poca cobertura del fenómeno. Esta situación puede obedecer a varias razones que van, desde las creencias personales hasta las políticas educativas de cada país. En países europeos, por ejemplo, la creencia de que el fenómeno es real está entre 32% y 83% de la población adulta; en EE. UU son más escépticos y solo un 63% considera el fenómeno importante (Christensen & Knezek, 2015; Jiménez & Moorhead, 2021), mientras que en los países en desarrollo se muestra una mayor aceptación del fenómeno (Siegner, 2018). En EEUU, el cambio climático se ofrece como electiva en estudiantes de preparatoria (NGSS Lead States, 2013).

La dificultad más relevante a la hora de incluirlo en los planes de estudio radica en que el fenómeno es interdisciplinario, involucra tanto las disciplinas de las ciencias naturales como de las ciencias sociales (Anyanwu et al., 2015; Boronat-Gil et al., 2018; Christensen & Knezek, 2015; Jiménez & Moorhead, 2021; Roychoudhury et al., 2017; Siegner, 2018). Por lo tanto, los contenidos asociados al fenómeno están dispersos entre las disciplinas y los grados escolares.

En Colombia, tampoco se incluye el fenómeno en los estándares de competencias básicas de ciencias naturales (MEN, 2004), ni en los Derechos Básicos de Aprendizaje (MEN

& Universidad de Antioquia, 2016). No obstante, es imperativo incluirlo en los planes de clase y no dejarlo sujeto a la autonomía del docente (Siegner, 2018; Xie et al., 2014).

2.5 Articulación teórica entre el aprendizaje significativo crítico y la educación para el cambio climático

El aprendizaje significativo crítico y la Educación para el cambio climático tienen varios puntos de convergencia, que pueden favorecer el aprendizaje efectivo y significativo del cambio climático; citando a continuación los considerados en esta tesis:

1. *Participación activa del estudiante*, el ASC promueve la educación centrada en el estudiante con una participación activa en la construcción de sus conocimientos (Moreira, 2010) afín a los requerimientos de la educación para el cambio climático que se favorece con la participación activa y experiencial de los estudiantes en la comprensión del fenómeno para forjar cambios de mitigación y adaptación del mismo (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

2. *Enfoque en la realidad*. El ASC considera las problemáticas del entorno para familiarizarse con las condiciones reales del estudiante y de su contexto (Moreira, 2017). La ECC es una problemática real y ha causado impactos en la sociedad y en el ambiente (UNESCO, 2017).

3. *Participación comunitaria*, el ASC favorece la conexión con la comunidad en el contexto local (Moreira, 2005) y la educación para el cambio climático se beneficia de la conexión a la comunidad por la promoción de acciones locales y la gestión de riesgos (Selby & Kagawa, 2013; UNESCO, & United Nations Framework Convention on Climate Change. 2016; UNESCO, 2017). Se promueve el aprendizaje mediante investigación y proyectos comunitarios, clubes, acciones con impactos locales, debates, buscando transformaciones de sistemas, valores y rutinas insostenibles (Stevenson et al., 2017).

4. La comprensión del cambio climático requiere un *enfoque crítico y reflexivo* de las causas y consecuencias para generar acciones de mitigación (UNESCO, 2017), la teoría de ASC aporta criticidad y reflexión en el abordaje del fenómeno (Moreira, 2005).

5. *Interdisciplinariedad*. El ASC puede involucrar varias disciplinas y perspectivas tal como lo evidencian investigaciones de Da Cruz et al., (2021); Ferreira Matos et al.,

(2018); Gulis et al., (2021); Martínez Salcedo, (2019), y el fenómeno del cambio climático requiere de un enfoque interdisciplinario (Selby & Kagawa, 2013).

6. *Aprendizaje colaborativo, investigativo y de indagación.* Tanto el aprendizaje significativo crítico (Moreira, 2005) como la ECC promueven un aprendizaje colaborativo, investigativo y de indagación, que fortalecen el desarrollo de actitudes individuales y colectivas y comportamientos favorables a la acción contra el cambio climático (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024).

De acuerdo con los puntos convergentes, el ASC puede tener un impacto relevante en la ECC, tanto en el fortalecimiento de la alfabetización climática como en la promoción de acciones de mitigación, adaptación y resiliencia. Al vincular los contenidos escolares con la realidad y el contexto del estudiante, el ASC favorece un aprendizaje más comprometido y motivador, lo cual puede estimular una mayor participación y acción frente al cambio climático. Asimismo, este enfoque contribuye al desarrollo de habilidades críticas como el análisis, la reflexión y la toma de decisiones orientadas a la transformación social, desde una conciencia más profunda y una responsabilidad tanto individual como colectiva. Al centrarse en la experiencia del estudiante, el ASC propicia un aprendizaje más profundo, significativo y duradero, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos climáticos con conocimiento, sensibilidad y capacidad de acción.

2.5.1 Desafíos y limitaciones entre el aprendizaje significativo crítico y la educación para el cambio climático

Aunque los aportes del ASC a la ECC son valiosos, es importante considerar algunos desafíos que pueden dificultar su implementación en contextos educativos:

- *Complejidad del tema:* la relación entre la educación y los conocimientos, actitudes y comportamientos relacionados con el cambio climático es compleja y que requiere una comprensión profunda de conceptos científicos, sociales y económicos; así como de acciones, actividades y actitudes que informarán las decisiones de los aspectos de la vida y que reflejan las normas y procesos existentes (UNESCO, & University of Saskatchewan,

2024). Esto puede hacer que sea difícil diseñar experiencias de aprendizaje significativo crítico que aborden *todos* los aspectos relevantes.

- *Resistencia al cambio*: Algunos estudiantes y educadores pueden resistirse a adoptar un enfoque crítico y reflexivo sobre el cambio climático debido a creencias o valores arraigados (Xie et al., 2014). Superar esta resistencia puede requerir estrategias efectivas de sensibilización y motivación.

- *Indiferencia*: en algunos lugares el CC no se percibe como un riesgo, no genera efectos sobre las personas y sus impactos no se verán inmediatamente. Tampoco se percibe como un problema personal, por lo que no se generan acciones individuales (Stevenson et al., 2017).

- *Limitaciones de tiempo y recursos*: La implementación del ASC en la comprensión del cambio climático puede requerir más tiempo y recursos que los enfoques tradicionales.

- *Integración con currículos existentes*: La integración del aprendizaje significativo crítico en currículos existentes puede ser un desafío, especialmente si se requiere una revisión significativa de los planes de estudio. Es necesario integrar al cambio climático reconociéndolo como un tema multidisciplinario (Açıklan et al., 2024).

- *Abordar la ansiedad y la desesperanza*: El cambio climático puede generar ansiedad y desesperanza en algunos estudiantes, lo que puede afectar su capacidad para aprender y actuar (UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024). Los educadores deben encontrar formas de abordar estos sentimientos y promover una sensación de esperanza y empoderamiento aun con la sobrecarga de información.

A pesar de estos desafíos, el ASC puede ser una herramienta poderosa para promover la ECC y empoderar a los estudiantes para que tomen acción. Superar estos desafíos requiere creatividad, colaboración y compromiso con la educación de calidad. Preparar a los niños y jóvenes para un futuro que cambia con rapidez, incierto y posiblemente peligroso, depende de las acciones que se tomen hoy (Stevenson et al., 2017).

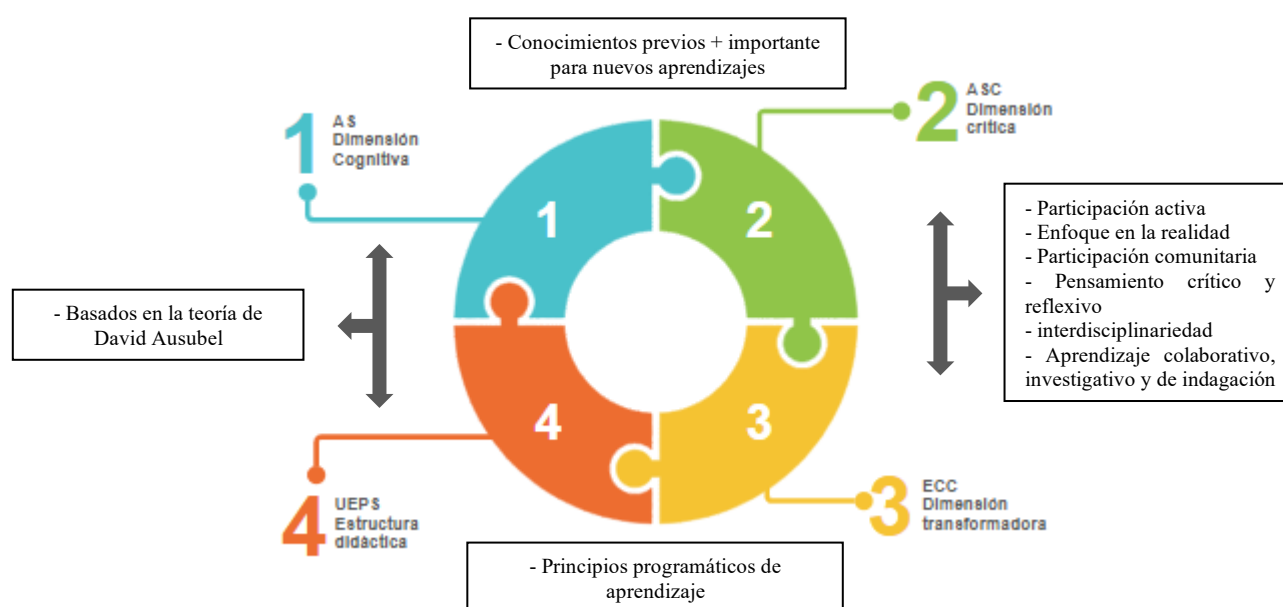
En síntesis, este capítulo permitió establecer las bases conceptuales fundamentales para la comprensión del problema de investigación. Desde la teoría del AS y su evolución hacia el ASC, se enfatizó en la necesidad de promover aprendizajes relevantes, contextualizados, reflexivos, críticos, significativos y enfocados a la *acción* (Moreira, 2005,

2012). A su vez, la revisión de los marcos normativos e institucionales en torno a la ECC evidenció la importancia de formar sujetos críticos, capaces de comprender y *actuar* para la adaptación y mitigación del fenómeno (UNESCO, 2021; UNESCO, & University of Saskatchewan, 2024), desde la educación científica y/o ambiental.

La articulación entre ambas líneas teóricas, mediante el diseño y desarrollo de una UEPS (Moreira, 2011), sugiere un camino posible y necesario para fortalecer los procesos educativos que buscan una transformación social y ambiental (figura 2).

Figura 2.

Puntos de convergencia entre ECC, ASC y la UEPS



Fuente: Elaboración propia. (Programa Napkin.ai)

Si bien la articulación de estos elementos constituye un desafío, se reconoce el potencial de estos referentes teóricos para el desarrollo de propuestas pedagógicas que integren la reflexión crítica, la acción transformadora y la conciencia ecológica.

Este marco teórico sustenta las decisiones metodológicas de la investigación que se describen en el capítulo siguiente.

Capítulo 3. Metodología

En esta tesis se propone la construcción de una UEPS sobre ECC, articulada a los principios del ASC, e implementada con estudiantes de educación secundaria. Para ello, se adoptó la Investigación Basada en Diseño (IBD) como metodología, la cual se estructura en distintas fases que abarcan tanto el diseño como los indicios de aprendizaje de la implementación en el aula. En el desarrollo de cada fase se emplearon diversas técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. En la primera parte de este capítulo se hace una descripción del enfoque y método de investigación seleccionado, profundizando en el marco teórico-metodológico de la IBD, seguido del diseño de la investigación, su contexto, la articulación de los objetivos con las fases de la IBD, las técnicas de recolección de información, los procedimientos de análisis y en los criterios de evaluación de los estudios de diseño. Finalmente, se presenta, el desarrollo de cada una de las fases para la construcción de la UEPS y su implementación en el aula, considerando las iteraciones y los análisis retrospectivos que incluyen la evaluación del diseño y de los resultados de aprendizaje.

Esta tesis se desarrolló con un enfoque de tradición cualitativa, bajo una perspectiva interpretativa y centrada en el entendimiento del significado de las acciones de los humanos y de las realidades de los participantes. La variedad de concepciones en la aproximación cualitativa se enfoca en que todo individuo, grupo o sistema social tiene una manera única de ver el mundo y entender situaciones y eventos (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó el método de IBD enfocada en un paradigma pragmático dedicado a mejorar las condiciones de enseñanza y la praxis educativa (Guisasola et al., 2021).

En la próxima sección, se explora el marco teórico de la IBD, sus características, sus fases y las técnicas e instrumentos de recolección de información, los análisis de datos y la evaluación de los estudios de diseño.

3.1 Marco teórico de la Investigación Basada en Diseño

La IBD se entiende como un paradigma de investigación metodológica (Molina et al, 2011) de carácter constructivista y pragmático (Guisasola et al., 2021). El propósito fundamental de la IBD es entender y mejorar los procesos de aprendizaje mediante la creación, implementación y análisis de innovaciones educativas dentro de contextos reales de enseñanza (The Design-Based Research Collective, 2003).

Su naturaleza es principalmente cualitativa y se centra en el aprendizaje en contexto, a través del diseño y el estudio sistemático de formas particulares de aprendizaje, así como de estrategias y herramientas de enseñanza y evaluación (Molina et al, 2011).

El paradigma pragmático enfatiza tanto en la acción docente como en la generación de conocimiento aplicable, pues busca soluciones prácticas mediante diseños adecuados a cada situación particular (Hernández Sampieri et al., 2014). En este sentido, la IBD contribuye a cerrar la brecha entre la investigación y la práctica educativa, ofreciendo resultados con valor práctico y teórico (Guisasola et al., 2021).

En términos operativos, la IBD se define como un proceso de diseño educativo sistemático, iterativo y reflexivo, orientado a facilitar el aprendizaje, crear condiciones de aprendizaje más productivas, mejorar la práctica educativa en diversos aspectos: ambientes de aprendizaje, dinámicas de aula, motivación para aprender, experiencias extraescolares, interacción con padres, medios de comunicación o currículos (Escudero, 2018; Juuti & Lavonen, 2012; Molina et al., 2011; The Design-Based Research Collective, 2003). Adicionalmente, busca dar respuesta a problemas multidimensionales y se adapta a la complejidad de los contextos de enseñanza-aprendizaje, generando insumos transferibles a estudios similares (Escudero, 2018).

Finalmente, es importante resaltar que la IBD no busca establecer un único modelo “efectivo” de aprendizaje, sino explicar por qué un diseño es viable, cómo funciona y de qué manera puede adaptarse a nuevas circunstancias (Molina et al., 2011). Su propósito es transformador, pues busca la mejora continua del aprendizaje y la enseñanza integrando investigación, práctica e innovación para construir conocimiento que transforme la educación desde dentro de sus contextos reales (The Design-Based Research Collective, 2003).

3.1.1 Características de la IBD

La IBD ha sido llamada de diferentes formas, como *diseño de experimentos*, *investigación formativa*, *desarrollo/ investigación de desarrollo* o *investigación en ingeniería*, aunque todas comparten un enfoque similar (Van de Akker et al., 2006).

De acuerdo con Juuti y Lavonen, (2012); The Design-Based Research Collective, (2003) y Van de Akker et al., (2006), las características principales de la IBD son:

- Carácter intervencionista: orientada al diseño de intervenciones en contextos reales.
- Carácter iterativo: se desarrolla en ciclos continuos de diseño, implementación, análisis y rediseño, lo que permite ajustar las teorías y prácticas educativas a partir de la evidencia obtenida en la práctica.
- Innovación educativa: permite crear condiciones de aprendizaje más productivas, basadas en teorías del aprendizaje que se enriquecen con la implementación en campo.
- Vínculo entre teoría y la práctica: integra la teoría del aprendizaje con la práctica educativa, generando conocimiento útil y aplicable para mejorar la enseñanza y comprender cómo se produce el aprendizaje en contextos reales.
- Orientada al proceso: busca comprender y mejorar intervenciones, describiendo procesos internos.
- Orientada a la utilidad: el valor del diseño se mide por su aplicabilidad y practicidad.
- Aprendizaje colaborativo, participativo e interdisciplinario: promueve el intercambio de conocimientos entre investigadores, docentes y otros actores educativos, lo que contribuye a comprender mejor las dinámicas educativas en entornos complejos.

En conjunto, estas características permiten comprender la IBD como un enfoque que articula de manera explícita la teoría y la práctica, generando conocimiento situado y transferible. Su carácter iterativo favorece el perfeccionamiento progresivo de las propuestas pedagógicas, en coherencia con el paradigma constructivista y pragmático que orienta esta investigación (Guisasola et al., 2021).

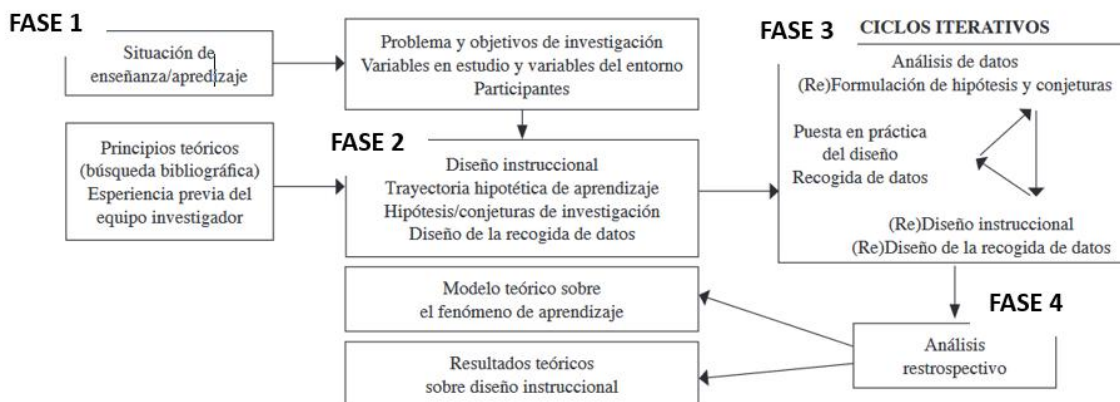
En coherencia con los propósitos de esta investigación, la IBD resulta pertinente en tanto posibilita el diseño de una UEPS de ECC, su implementación y análisis en contextos

reales, permitiendo comprender los procesos de aprendizaje asociados y ajustar la propuesta a partir de la evidencia obtenida.

Existen diversas propuestas sobre las fases de la IBD. En esta investigación se asumen cuatro fases principales. Molina et al., (2011), Juuti y Lavonen (2006), Štemberger y Cencič, (2016), Escudero (2018) y De Benito Crosetti y Salinas Ibáñez (2016), consideran que la fase 1 consiste en *determinar el objetivo o necesidad de investigación y la Revisión Sistemática de Literatura (RSL)* exhaustiva de los referentes teóricos y disciplinares del problema; en la fase 2, se *desarrollan soluciones a partir del diseño de un instrumento*, en la fase 3 inician los *ciclos iterativos* para refinamiento del diseño y, en la fase 4 se producen los *principios de diseño y mejoran las soluciones en su implementación* a través de la evaluación (Figura 3).

Figura 3.

Estructura general de la IBD (Molina et al., 2011)



A continuación, se detallan el diseño de investigación, técnicas de recolección de información, el análisis de datos y los criterios de evaluación de diseño más relevantes para este trabajo.

3.2 Diseño de la investigación

Para esta tesis se seleccionó la metodología IBD, estructurada en 4 fases. A continuación, se describe la generalidad de cada fase de la IBD en la construcción e implementación de la UEPS.

Fase 1. Fundamentación teórica: Revisión sistemática de literatura de ECC y TASC

Fase 2. Articulación de los principios de ASC al diseño de la UEPS sobre cambio climático (insumos provenientes de la fase 1)

Fase 3. Dos ciclos iterativos: Validación por expertos e implementación. Incluyen dos contextos de investigación. En un primer momento, se realizó una implementación inicial orientada a la indagación de conocimientos previos en el Liceo de la Universidad de Nariño (Pasto - Nariño), en el marco de una pasantía doctoral. Esta fase permitió obtener insumos para el ajuste y refinamiento de la propuesta. Posteriormente, la UEPS se implementó en su totalidad en la IE La Paz (Envigado - Antioquia), donde se analizó su desarrollo y los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

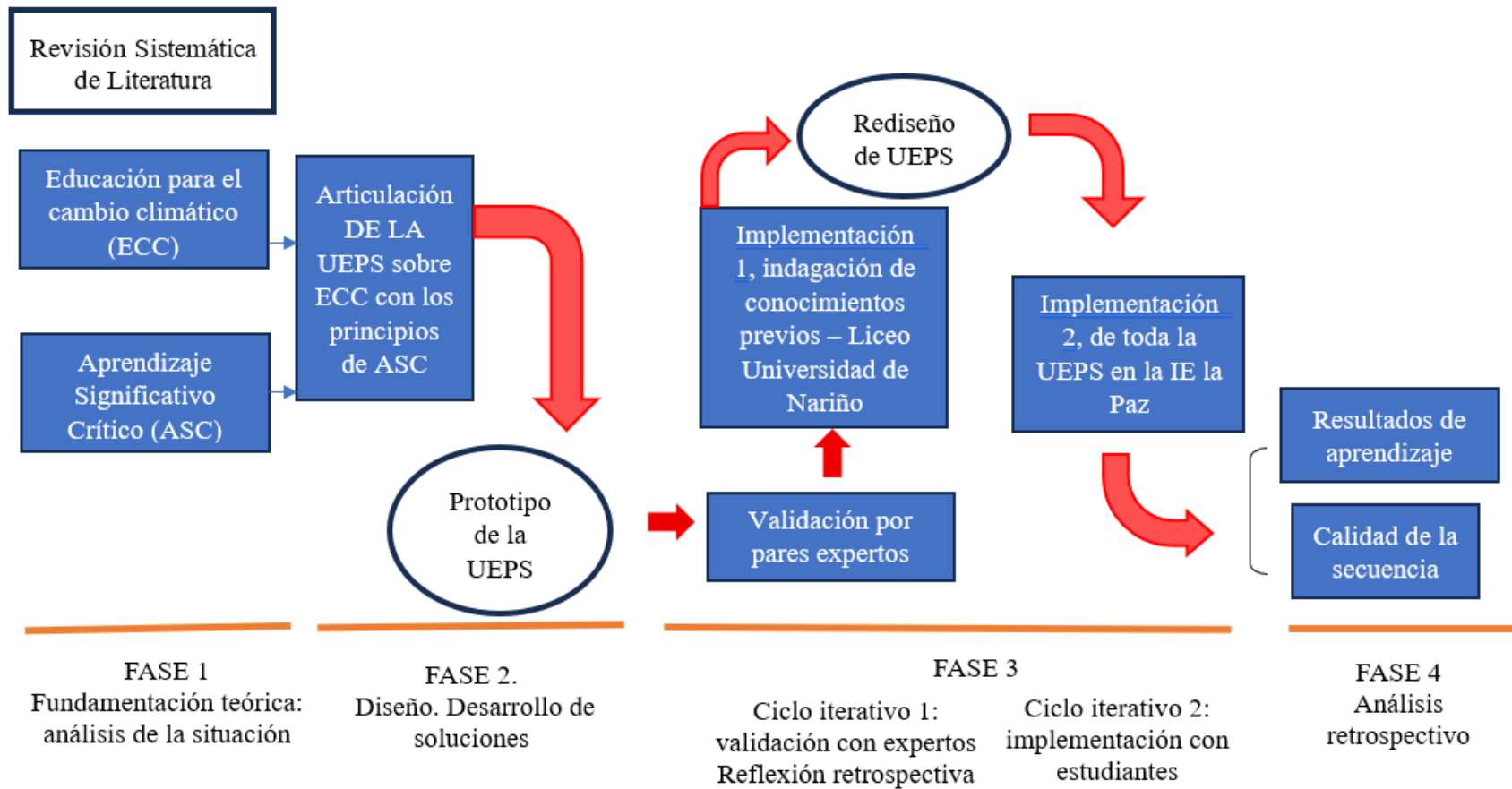
Ambos contextos comparten características comunes, como el nivel educativo (grado séptimo), el rango de edad de los estudiantes (11 a 15 años) y la referencia a los mismos estándares curriculares nacionales. No obstante, presentan diferencias geográficas y socioambientales relevantes. Mientras que Pasto se ubica en la región andina sur del país, con dinámicas ambientales asociadas a contextos menos industrializados, Envigado forma parte de la región andina central, específicamente del Valle de Aburrá, caracterizado por una alta urbanización y actividad industrial. Estas condiciones influyen en las experiencias cotidianas de los estudiantes frente al cambio climático, así como en las problemáticas ambientales que reconocen en su entorno. En este sentido, la diversidad geográfica y socioambiental permite manifestar cómo este fenómeno se vive y se comprende de manera diferenciada según el contexto.

Fase 4. Resultados de aprendizaje y del diseño de la secuencia.

En la figura 4 se presentan las fases de la IBD llevadas a cabo en el desarrollo de la tesis.

Figura 4.

Fases del proceso de construcción y validación de la UEPS sobre cambio climático a partir de la metodología de IBD



3.3 Matriz metodológica de la investigación

La presente investigación parte de la pregunta de investigación y los objetivos planteados para su desarrollo. Las categorías iniciales que guiaron la investigación fueron apriorísticas (Cisterna Cabrera, 2005). Las categorías apriorísticas se construyeron antes del proceso recopilatorio de la información y surgen de los núcleos temáticos, que en este caso corresponden a ECC y ASC. Las variables de análisis surgen de los núcleos temáticos y son los micro aspectos que están enmarcados en los objetivos general y específicos de la tesis, estos facilitaron la selección de técnicas e instrumentos de recolección de la información y el análisis de los datos (Tabla 3)

A continuación, se describe la metodología llevada a cabo en las diferentes fases de la IBD. Cada fase está acoplada a los objetivos específicos de la tesis (Tabla 3). La fase 1 está dedicada a la revisión de literatura enmarcada en los núcleos temáticos (objetivos 1 y 2). En la fase 2 se construye el diseño de la UEPS de ECC articulado a los principios de ASC (objetivo 3). En la fase 3 se llevan a cabo las iteraciones: una iteración exploratoria con académicos y un primer grupo de estudiantes, que permiten realizar ajustes al diseño y otra iteración implementando el diseño en otro grupo de estudiantes. En la fase 4 se realiza el análisis retrospectivo tanto del aprendizaje como del diseño construido (objetivo 4).

Tabla 3.*Matriz metodológica de la investigación.*

Pregunta(s) de la investigación: ¿Cuál es la contribución de la Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa al aprendizaje crítico y reflexivo sobre el cambio climático?					
Objetivo General: Analizar la contribución de una UEPS sobre el cambio climático al aprendizaje crítico y reflexivo en estudiantes de grado séptimo.					
Objetivos específicos	Núcleos temáticos	Variables de análisis	Técnicas e instrumentos para recoger información	Análisis de datos	Fases de la IBD
Identificar los elementos que aporta la revisión de literatura de ECC al diseño de la UEPS para la educación básica secundaria.	Elementos para la enseñanza sobre el cambio climático	- Elementos conceptuales - Estrategias pedagógicas y didácticas de enseñanza	- Metodología PRISMA (Page et al., 2021) - Matrices en Excel	Análisis de contenido Análisis descriptivo (frecuencias)	Fase 1a: Fundamentación teórica: Revisión Sistemática de Literatura de educación para cambio climático
Reconocer las contribuciones teóricas y metodológicas que la revisión de literatura de ASC ofrece para el diseño de la UEPS sobre cambio climático.	Elementos de Aprendizaje Significativo Crítico	- Principios conceptuales y disciplinares - Principios pedagógicos y didácticos	Metodología PRISMA (Page et al., 2021) - Matrices en Excel	Análisis de contenido Análisis descriptivo (frecuencias)	Fase 1b: Fundamentación teórica: Revisión Sistemática de Literatura de ASC
Articular los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico con el diseño de la UEPS sobre cambio climático.	Articulación de elementos de ECC y ASC al diseño de la UEPS	Diseño de la UEPS	- Revisión documental de EBC y DBA.	Análisis de contenido	Fase 2: Prototipo de la UESP

			- Rúbrica disciplinar y pedagógica de la validación por académicos - Iteración exploratoria: revisión documental. Matrices de Excel. - Iteración evaluativa: Revisión documental Matrices Excel	Informes de revisión Análisis de contenido. Validación: Triangulación con marco teórico y entre fuente de información.	Fase 3a: Iteración exploratoria: Validación por académicos. Implementación de saberes previos (IE Liceo de la Universidad de Nariño) Reflexión retrospectiva Fase 3b: iteración evaluativa. Implementación del diseño con estudiantes de grado 7 (IE La Paz)
Describir los principales indicios de Aprendizaje Significativo Crítico en los participantes a partir de la implementación de la UEPS sobre cambio climático	Aprendizaje significativo crítico sobre CC	Interacción social y del cuestionamiento Conocimiento como lenguaje Diversidad de estrategias y materiales Percepción /representación	Cuestionarios Mapa conceptual Revisión documental: escrita y transcripción de audios de exposiciones. Observación participante	- Análisis de contenido - escala de valoración de preguntas Validación: Triangulación con marco teórico y entre fuente de información.	Fase 4: Análisis retrospectivo: -Resultados de aprendizaje - Resultados teóricos del diseño instruccional.

3.4 Técnicas de recolección de la información

En la IBD es plausible el uso de diversidad de técnicas de recolección de la información. En esta tesis se usaron técnicas específicas para la revisión de literatura, para la construcción del diseño, para los ciclos iterativos y la implementación, para el análisis retrospectivo y la evaluación del diseño. A continuación, se describen las técnicas de recolección de la información generales que se usaron en la tesis y, más adelante (a partir de la sección 3.7) se amplía la técnica usada en cada fase de la IBD.

3.4.1 Metodología PRISMA para revisión sistemática de literatura

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es una guía internacional diseñada para mejorar la calidad y transparencia de las revisiones sistemáticas y metaanálisis. Consiste en una declaración conformada por 27 ítems distribuidos en diferentes secciones (título, resumen, introducción, metodología, resultados, discusión y financiamiento), que sirven como lista de verificación para asegurar que cada etapa del proceso de revisión quede claramente documentada. Además, incluye un diagrama de flujo que permite reportar, de manera estructurada, el número de estudios identificados, seleccionados, evaluados y finalmente incluidos en la síntesis. En su versión actualizada en 2020, PRISMA amplió sus alcances para revisiones que integran métodos cuantitativos, cualitativos o mixtos, promoviendo así la rigurosidad y la reproducibilidad en la investigación científica (Page et al., 2021).

3.4.2 Observación participante

Hernández Sampieri et al., (2014) recopila la conceptualización de la técnica de la observación de varios autores como Eddy (2008), Patton (2002) y Grinnell (1997). Ellos consideran que el propósito de la observación investigativa es explorar y describir ambientes, comunidades y aspectos de la vida social, analizando tanto los significados como a los actores que los generan. Por su parte, autores como Miles et al. (2013) y Jorgensen (1989), resaltan que esta técnica también busca comprender los procesos, la interacción entre las personas y

las situaciones, así como las experiencias, circunstancias, eventos que ocurren a lo largo del tiempo y los patrones que se desarrollan. En este sentido, la observación investigativa contempla diversos elementos, entre ellos el ambiente físico y social, las actividades individuales y colectivas, los artefactos utilizados, los hechos relevantes y los relatos humanos (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.4.3 Revisión documental

Una fuente muy valiosa de datos cualitativos, son los documentos, artefactos, y diversos materiales que pueden ayudar a entender el fenómeno de estudio. Permiten al investigador estudiar el lenguaje escrito y gráfico de los participantes, tanto de sus antecedentes como de las vivencias o situaciones que se producen en él y en su funcionamiento cotidiano (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.5 Técnicas de análisis de datos

La IBD es de carácter iterativo, por lo tanto, estos estudios implican dos tipos de análisis de datos: análisis continuados que se realizan durante las diferentes fases y un análisis final retrospectivo de todos los datos recogidos en el proceso de investigación. El primero de los análisis es de carácter práctico y está relacionado con el objetivo de promover el aprendizaje de los estudiantes participantes. En contraste, el análisis retrospectivo busca aportar al desarrollo de un modelo teórico de dicho proceso de aprendizaje (Štemberger & Cencič, 2016). Para el análisis de datos se utilizó el análisis de contenido, con el sistema de codificación y categorización (Mayring, 2014) y para la validación de la información se utilizó la triangulación de los datos (Cisterna Cabrera, 2005).

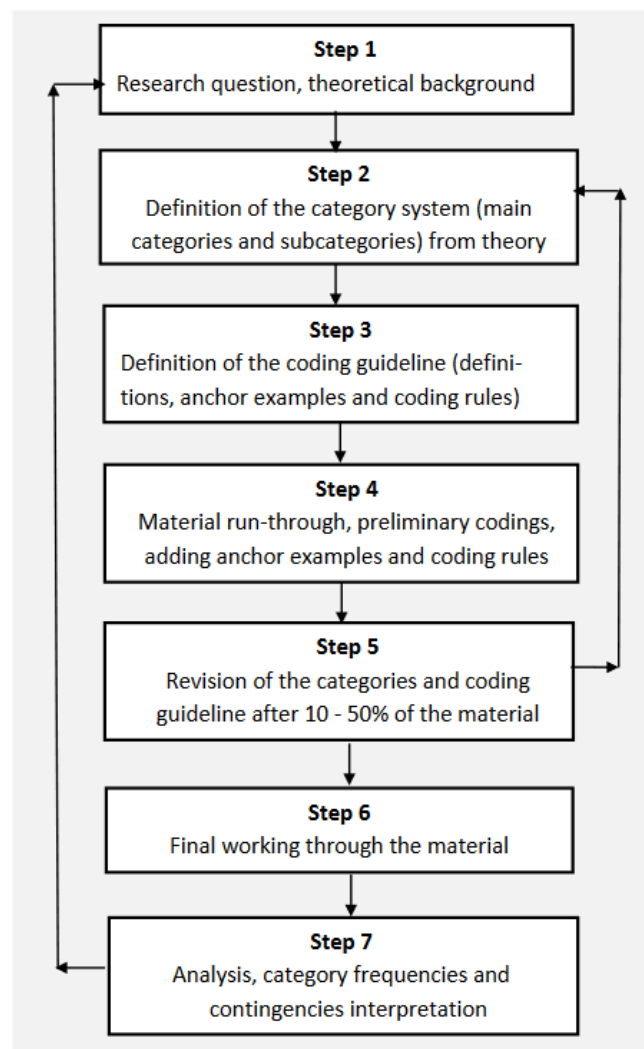
3.5.1 Análisis de contenido

El análisis de contenido se entiende como un conjunto de técnicas orientadas a la sistematización e interpretación de la información mediante procedimientos rigurosos y fundamentados (Mayring, 2014).

El análisis de contenido en esta investigación se desarrolló en articulación con el sistema de categorización apriorística definido previamente en la matriz metodológica. En este sentido, las variables de análisis iniciales, derivadas de los núcleos temáticos de ECC y ASC, orientaron el proceso analítico desde un enfoque deductivo (Figura 5).

Figura 5.

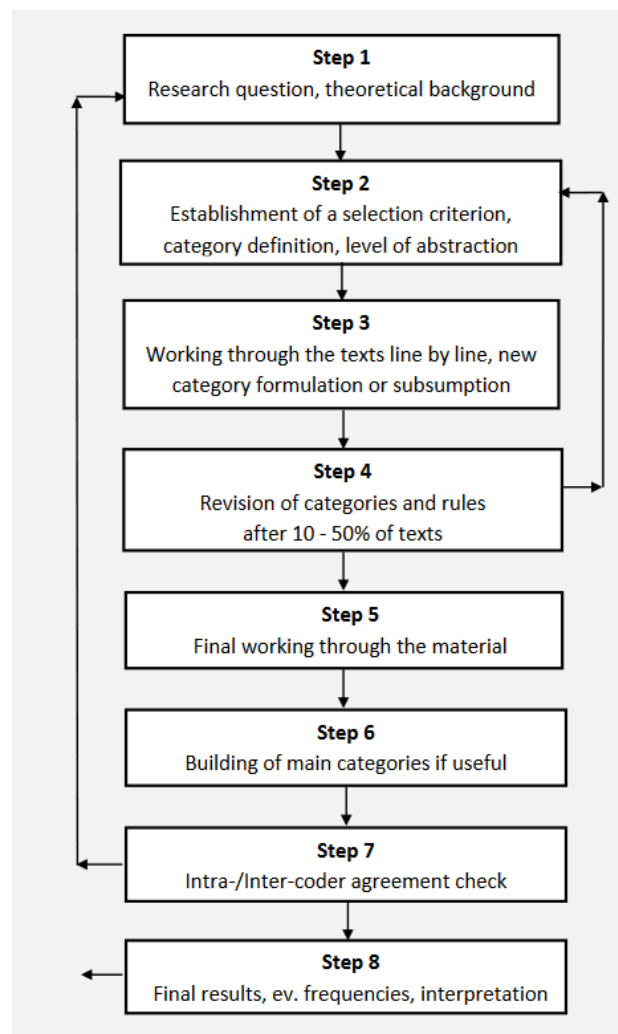
Modelo de desarrollo de categorías deductivas de Mayring (2014)



No obstante, durante el proceso de análisis se incorporaron variables emergentes a partir de los datos, lo que permitió complementar la interpretación desde una perspectiva inductiva (Figura 6).

Figura 6.

Modelo de desarrollo de categorías inductivas de Mayring (2014)



De esta manera, el análisis de contenido se desarrolló bajo un enfoque mixto (deductivo-inductivo), posibilitando tanto la validación de categorías teóricas como la identificación de nuevos significados.

3.5.2 Codificación y variables emergentes

Para tratar la información recolectada y construir las categorías emergentes (Cisterna Cabrera, 2005), se empleó el sistema de *codificación* propuesto por Bardin (1996) que menciona la siguiente enumeración y reglas de recuento:

- Presencia o ausencia de elementos de un texto.
- Frecuencia de aparición de un elemento en un texto.
- Frecuencia ponderada: cuando uno o más elementos tienen más importancia que los demás (el investigador otorga los niveles de ponderación).
- Orden: viene establecido según la aparición temporal, importancia o función de las unidades de registro.
- Contingencia. La contingencia es la presencia simultánea en un momento dado de dos o más unidades de registro en diferentes niveles de códigos o de contextos.

Las variables emergentes se determinaron siguiendo los criterios propuestos por Bardin (1996). Este autor considera que la construcción de una categoría “es una operación de clasificación de elementos constitutivos de un conjunto por *diferenciación*, tras la *agrupación por analogía*, buscando los patrones comunes”.

3.6 Criterios de calidad de estudios de diseño

En la IBD hay varias propuestas de criterios para evaluar los estudios de diseño. Según el Design-Based Research Collective (2003), los criterios básicos para valorar la calidad de los diseños son la validez, la objetividad y la fiabilidad; Juuti y Lavonen (2012) mencionan la veracidad y la confiabilidad. Sin embargo, otros autores sugieren, además, la replicabilidad, la capacidad de generalización y la utilidad como aspectos centrales (Molina et al., 2011).

Teniendo en cuenta esta información, la evaluación de los estudios de diseño podría verse desde tres grupos de criterios: la calidad del análisis y de los datos, transferibilidad del conocimiento y la utilidad del diseño.

3.6.1. Calidad del análisis y de los datos

Este grupo incluye la *fiabilidad*, la *veracidad* y la *validez*. Estos criterios en la práctica pueden superponerse; sin embargo, algunos autores los describen con matices diferentes.

La *fiabilidad* se enfatiza en el proceso. Se entiende como el grado en que las inferencias y afirmaciones resultantes son razonables y justificables. Para ello, el análisis debe ser sistemático, explícito, justificable, sometido a crítica y acompañado de descripciones detalladas de cada fase (Molina et al., 2011). Además, puede fortalecerse mediante triangulación de fuentes, técnicas de recopilación de datos, iteraciones de análisis y uso de instrumentos estandarizados (Štemberger & Cencič, 2016).

La veracidad se centra en la etapa previa del análisis, alude a la calidad de la recopilación, selección y análisis de los datos, lo cual implica cubrir en profundidad el fenómeno estudiado y justificar cómo se decide el conjunto de datos a emplear, evitando así sesgos en las conclusiones (Juuti & Lavonen, 2012).

La validez se orienta a la solidez de las conclusiones, esto se logra a través de la asociación de los participantes y las iteraciones, que permiten un equilibrio entre teoría y práctica. Para garantizarla, se recomienda la triangulación de datos, métodos y teorías (Juuti & Lavonen, 2012; Štemberger & Cencič, 2016).

Para aumentar la validez, la fiabilidad y la profundidad interpretativa de los datos recolectados, se usa la técnica de triangulación. Según Cisterna Cabrera (2005), la triangulación se define como la acción de cruce dialéctico de toda la información pertinente al objeto de estudio. Esta triangulación incluye pasos como la selección de información según pertinencia y relevancia. La triangulación se realiza por estamento (grupo o cuerpo diferenciado en el estudio), entre métodos, entre diferentes fuentes de información y de contraste con el marco teórico

3.6.2. Transferibilidad del conocimiento

Aquí se agrupan la replicabilidad y la capacidad de generalización, que están estrechamente relacionadas.

La replicabilidad no debe entenderse en sentido estricto. Se refiere a la posibilidad de que algunos aspectos del proceso de aprendizaje puedan repetirse en condiciones similares, permitiendo que los modelos obtenidos funcionen como material conceptual reorganizable. De esta manera, se verifican los resultados iniciales y se desarrollan modelos más avanzados, ampliando su aplicabilidad (Molina et al., 2011).

La capacidad de generalización no depende de la representatividad de la muestra, sino de su relación con la replicabilidad. Consiste en que los productos de la investigación puedan usarse en otros contextos para promover aprendizaje. Juuti y Lavonen (2012) enfatiza que la IBD es más generalizable a proposiciones teóricas que a poblaciones, lo que implica evaluar su aporte a la explicación de fenómenos educativos. Es importante mencionar que, las investigaciones de diseño se realizan en contextos culturales locales y, dependiendo del tema y nivel educativo se hace difícil replicar los hallazgos de otros (Guisasola, 2021).

3.6.3. Impacto práctico

La utilidad se relaciona con las implicaciones concretas de la investigación en la enseñanza. Los resultados deben ofrecer a los docentes posibilidades de adaptación, comprobación y modificación de las secuencias de enseñanza en sus aulas, garantizando así la relevancia pedagógica del estudio (Juuti & Lavonen, 2012; Štemberger & Cencič, 2016).

En cuanto a la utilidad, los resultados obtenidos deben dejar claro lo que implican para la enseñanza. El tipo de justificación aportada ofrece a los docentes la posibilidad de adaptar, comprobar y modificar las secuencias de enseñanza en sus aulas (Molina et al., 2011).

3.7 Desarrollo de la IBD por fases

3.7.1 Fase 1 IBD: Revisión Sistemática de Literatura (RSL)

La primera fase de la investigación implica definir con claridad el problema, asegurando que responda a una necesidad real en el ámbito educativo. Un aspecto central de esta etapa es la revisión exhaustiva y sistemática de la literatura, ya que resulta esencial para el diseño de innovaciones y debe acompañar todas las fases e iteraciones del proceso investigativo (Štemberger & Cencič, 2016).

Para el proceso de revisión de literatura de los núcleos temáticos: ECC y ASC, se utilizó la metodología PRISMA (Page et al., 2021). Las palabras clave utilizadas para la búsqueda fueron:

1. Educación para el cambio climático + estudiantes de secundaria.

2. Aprendizaje significativo crítico
3. Aprendizaje significativo crítico + educación para el cambio climático.

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos ERIC, ScienceDirect, Dialnet, DOAJ y SciELO, así como en repositorios institucionales de universidades, seleccionadas por su pertinencia para el campo de la educación. Estas fuentes permiten acceder a investigaciones revisadas por pares y a producción académica relevante en ECC y ASC, incluyendo estudios desarrollados en contextos escolares diversos y en distintas regiones.

3.7.1.1 Elementos básicos en la educación para el cambio climático

Las variables de análisis definidas con base en los objetivos de investigación y consideradas para la búsqueda en las bases de datos fueron los *conceptos* asociados a la ECC y las *herramientas pedagógicas y didácticas en la ECC* para secundaria. La estrategia de búsqueda inició con el uso de las palabras clave: Educación para el cambio climático + educación secundaria. Es de aclarar que en el Tesauro de la UNESCO solo se relaciona el concepto cambio climático; por lo tanto, se incorporó en la búsqueda el término *educación para el cambio climático + educación secundaria*, estas palabras se identificaron en el título, palabras clave o resumen del artículo. En español se usaron las palabras clave Educación para el cambio climático + educación secundaria y en inglés climate change education + middle school.

Para la extracción y análisis de datos, se realizó una base de datos en el programa excel con las variables de análisis de los artículos: título, autor, año, país, elementos conceptuales, elementos pedagógicos y disciplinares; posteriormente, se llevó a cabo un análisis de contenido deductivo (Mayring, 2014). Se analizó la frecuencia de los conceptos usados en la ECC y la asociación entre conceptos para establecer las variables emergentes. Además, se extrajeron las herramientas pedagógicas y didácticas implementadas para el aprendizaje de los diferentes contenidos asociadas al fenómeno.

3.7.1.2 El Aprendizaje Significativo Crítico y sus principios de enseñanza de las ciencias

La búsqueda con las palabras clave *Aprendizaje significativo crítico* (español) o *Critical meaningful learning* (inglés) ó *Aprendizagem significativa crítica* (portugués), se hizo para los últimos 12 años. En esta revisión, además de las bases de datos mencionadas, también se hizo una búsqueda manual.

Para la extracción y análisis de datos se realizó una matriz de información en el programa Excel con las variables de análisis de los documentos: título, autor, año, país, elementos conceptuales, estrategias didácticas, principios utilizados y disciplina en la que fue implementada. Se llevó a cabo un análisis de contenido inductivo (Mayring, 2014), para construir posibles variables emergentes.

3.7.2 Fase 2 IBD. Prototipo de la UEPS: ECC desde una perspectiva crítica

La segunda fase de la investigación abarca la elaboración de lineamientos orientadores para el diseño, esto se hace con base en la literatura y en colaboración con investigadores, docentes y académicos de áreas específicas, que arrojan las ideas clave que deben ser articuladas para el aprendizaje de los estudiantes (Guisasola et al., 2021; Štemberger & Cencič, 2016). De acuerdo con Guisasola (2021), la revisión de literatura debe considerar las dificultades que los estudiantes encuentran con el tema y las posibles soluciones propuestas para superar estas dificultades. Conjuntamente, es indispensable planificar el proceso investigativo, que incluye los instrumentos de recolección y procesamiento de datos y un plan operativo detallado de implementación, además, considerar cuidadosamente a los participantes, así como los recursos, limitaciones y la selección de colaboradores (Štemberger & Cencič, 2016)

Para el diseño de una UEPS de ECC y ASC, en este trabajo se consideraron 3 aspectos:

- Relación de los conceptos de ECC pertinentes para secundaria (provenientes de la RSL) con los estándares de Competencias Básicas y Derechos Básicos de aprendizaje (MEN, 2004; MEN & Universidad de Antioquia, 2016).
- Incorporación de los contenidos de ECC a los pasos de la UEPS (Moreira, 2011)

- Articulación de los principios de ASC (Moreira, 2005) a través de herramientas pedagógicas y didácticas a los contenidos seleccionados en la UEPS

A continuación, se describe la metodología de cada ítem considerado

3.7.2.1 Articulación de los contenidos de CC con estándares de competencias y DBA para grado séptimo

Se realiza una revisión documental y un análisis de contenido de los referentes curriculares nacionales: los estándares de competencias básicas y los DBA de secundaria (MEN, 2004; MEN & Universidad de Antioquia, 2016)

En primera instancia se hizo una aproximación visual entre los conceptos más relevantes y frecuentes obtenidos en la RSL (Fase 1) y los referentes curriculares. Se selecciona grado séptimo debido a que reúne varios contenidos que favorecen la comprensión de la formación y balance del clima. Los conceptos que son necesarios y no están incluidos en los estándares, son incorporados para que se aborde el fenómeno de manera holística.

3.7.2.2 Incorporación de los contenidos de ECC a los pasos de la UEPS

Las UEPS son secuencias de enseñanza diseñadas para favorecer el aprendizaje significativo en los estudiantes (Moreira, 2011). Los contenidos seleccionados de la ECC para grado séptimo, se ajustan con los pasos de la UEPS, que se enumeran a continuación:

1. Indagación de conocimientos previos: se usan los contenidos seleccionados en la fase 1.

2. Introducción al tema: Aún no se enseña el tema, sino que se prepara al estudiante para que lo perciba como un problema y lo modele mentalmente. Se usan noticias, imágenes o documentos con problemáticas del clima y tiempo atmosférico.

3. Diferenciación progresiva: se organizan contenidos de aspectos generales a específicos. Se abordan elementos generales de la alfabetización climática: efecto invernadero, origen natural del clima y ciclo del carbono hasta llegar a conceptos específicos como fotosíntesis, respiración, cadena alimenticia.

4. Reconciliación integradora: destacar semejanzas y diferencias con relación a las situaciones ya trabajadas. Se abordan las variables que han acelerado el cambio del clima (causas antropogénicas).

5. Consolidación: se da continuidad al proceso de diferenciación progresiva y la reconciliación integradora, que ocurren simultáneamente. Nuevas situaciones problema, en un nivel más alto de complejidad con relación a los anteriores. Se consideran los impactos y consecuencias del cambio en el clima.

6. Evaluación del aprendizaje del estudiante y de la UEPS. La evaluación del aprendizaje del estudiante se hace permanentemente, en cada requisito de la UEPS y en evaluación de la UEPS, solo es exitosa si los estudiantes suministran evidencias de aprendizaje significativo, el AS es progresivo, por eso el énfasis es en evidencias. Se proponen acciones de mitigación o adaptación al cambio de clima.

3.7.2.3 Articulación de los principios de ASC a los contenidos seleccionados en la UEPS

La fase 1 arroja los principios de ASC con mayor potencial para ser incorporados en la UEPS. Además, la revisión de literatura permitió apreciar las herramientas pedagógicas y didácticas más pertinentes, factibles de replicación para la ECC. Para la selección de herramientas pedagógicas y didácticas se tuvo en cuenta:

- Acople a los principios de ASC seleccionados.
- El contexto donde se usaron, con problemáticas similares o soluciones acordes a la zona donde se realiza el estudio.
- Facilidad de conseguir los materiales y recursos.
- Lenguaje acorde a los estudiantes de séptimo grado.
- Usados actualmente por la comunidad estudiantil.
- Participación activa de los estudiantes.

La UEPS se construye con diversidad de estrategias y herramientas de aprendizaje, extraídas de propuestas internacionales, nacionales y locales de ECC, favoreciendo el desarrollo de los principios de ASC seleccionados.

3.7.3 Fase 3 IBD: Ciclos iterativos

3.7.3.1 Ciclo iterativo 1: validación de la UEPS con pares expertos

Debido a que la IBD es cíclica, se requieren iteraciones con el fin de mejorar progresivamente el entorno de aprendizaje y aumentar las posibilidades de resolver el problema. La primera iteración se hizo mediante la validación del diseño por pares expertos.

Los pares expertos que participaron en la validación de la UEPS pertenecen a las facultades de Educación y de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño (Pasto, Colombia). Todo el equipo de expertos hace parte de esta institución, dado que fue el lugar donde se desarrolló la pasantía de investigación correspondiente a la presente tesis doctoral.

En la tabla 4 se relaciona el equipo de expertos para la validación de la UEPS.

Tabla 4.

Equipo de pares expertos para validación de la UESP

Pares expertos		Experiencia	Línea
Doctor ciencias ambientales	en	Profesor asociado de la Universidad de Nariño del doctorado en ciencias agrícolas y de la maestría en educación ambiental.	ECC
Doctora didáctica organización escolar.	en y	Coordinadora de la maestría en educación, docente de programas de maestría y doctorado en educación.	Educación en ciencias naturales y ambientales
Doctora ciencias de la educación	en la		
Doctor educación	en	Profesor asociado a la Universidad de Nariño en maestría y doctorado de didáctica de las ciencias	Educación en ciencias naturales – física
Doctor educación	en	Decano de la facultad de educación	Educación
Doctor bioética	en	Rector del liceo Universidad de Nariño	Educación
Magister modelos de enseñanza	en de		

Ingeniera ambiental	Trabajo de grado en la línea ECC	Educación Ambiental
----------------------------	----------------------------------	---------------------

Se hace una presentación del prototipo inicial al equipo de profesionales. Los criterios de validación fueron: la pertinencia, coherencia pedagógica, recursos y materiales, criterios de evaluación e impactos esperados de la UEPS, esto con el fin de ajustarla para su implementación en estudiantes de grado séptimo (Tabla 5).

Tabla 5.

Instrumento de validación de la UEPS de Educación para el Cambio Climático desde una perspectiva crítica

Dimensión	Ítem a valorar	Comentarios / Observaciones
Pertinencia temática	Los contenidos seleccionados son relevantes y actualizados respecto al cambio climático.	
	Los objetivos responden a las necesidades educativas de estudiantes de grado séptimo.	
Claridad y coherencia	Los objetivos están redactados de forma clara.	
	Existe coherencia entre objetivos, actividades y evaluación.	
Metodología y actividades	Las actividades propuestas favorecen el aprendizaje significativo sobre cambio climático.	
	La secuencia de las actividades es progresiva y adecuada.	
	Se promueve la participación activa, el aprendizaje crítico y la reflexión.	
	La propuesta es viable en el tiempo disponible de clase.	
Recursos materiales	Los recursos (textos, imágenes, TIC, materiales impresos) son pertinentes y accesibles.	
	Los ejemplos y casos utilizados están contextualizados en la realidad de los estudiantes.	

Evaluación	Los instrumentos de evaluación permiten valorar los aprendizajes esperados.
	Los criterios de evaluación son claros, pertinentes y observables.
Impacto esperado	La UEPS fomenta actitudes y prácticas responsables frente al cambio climático.
	La propuesta puede transferirse a otros contextos educativos.
Recomendaciones, propuestas y varios	

Las respuestas de los expertos fueron los insumos para mejorar el diseño y proceder en la implementación del primer paso de la UEPS, consistente en la indagación de los conocimientos previos.

- ***Implementación del diseño: Indagación de conocimientos previos***

La iteración implica implementar el diseño, la participación de los involucrados, recoger y analizar los datos para saber si se requieren modificaciones en el diseño (Guisasola, 2021). Esta iteración se realizó con estudiantes del liceo de la Universidad de Nariño, únicamente con el primer paso de la UEPS consistente en la indagación de conocimientos previos.

Contexto de la investigación: la indagación de conocimientos previos se realizó con 47 estudiantes de la Institución oficial Liceo de la Universidad de Nariño ubicada en Pasto – Nariño (Colombia), que cursaban grado séptimo, con un rango de edad de 11 a 15 años. El Liceo de la Universidad de Nariño está ubicado contiguo a una de las sedes del campus universitario, en una zona clasificada como estrato socioeconómico 4. No obstante, la institución es de carácter oficial y atiende población estudiantil proveniente de estratos 1, 2 y 3, en los niveles de transición, primaria y bachillerato. Para el año 2023, se registró una matrícula total de 1047 estudiantes y un cuerpo docente conformado por 45 profesores. El Liceo hace parte del programa de jornada única, con un horario académico de 6:30 a. m. a 2:30 p. m. La ciudad de Pasto está a 2100 m.s.n.m. Está ubicada en el valle de Atríz, al pie del volcán Galeras. En cuanto al contexto ambiental, las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI) en la ciudad de Pasto son relativamente bajas, siendo sus principales fuentes el transporte, los cultivos agrícolas y la inadecuada disposición de residuos sólidos. A menos de un kilómetro de la institución se encuentra el Parque Lineal Corazón de Jesús, reconocido como un sumidero importante de CO₂ para la zona urbana.

Recolección de información: se llevó a cabo en dos momentos; en el primero se usaron imágenes de temáticas/ problemáticas del CC (centradas en las variables emergentes de la RSL), seleccionadas de acuerdo con la taxonomía de Perales y Jiménez (2002), con los criterios del grado de iconicidad y funcionalidad en la secuencia didáctica. Los estudiantes las interpretaron individualmente en una sesión de 50 minutos, detallando las palabras o conceptos que visualizaban. En el segundo momento, en equipos de tres estudiantes, se construyó un mapa conceptual con 25 conceptos relacionados con las variables asociadas al CC. La actividad se desarrolló en dos sesiones de 50 minutos cada una (Anexo 1).

Análisis de la información: Los patrones emergentes de las expresiones empleadas por los estudiantes en la interpretación de imágenes y en las proposiciones formadas en los mapas conceptuales se examinaron mediante un análisis de contenido cualitativo deductivo (Hernández Sampieri et al. 2014). Se describió la frecuencia de elementos explicativos en forma porcentual para las imágenes y las repeticiones en las proposiciones para los mapas conceptuales en cada categoría. Como criterio de validez de la investigación, se realizaron dos tipos de triangulación: una entre fuentes de información y otra comparando los datos obtenidos con el marco teórico (Cisterna Cabrera, 2005). Adicionalmente, se realizó un análisis exclusivo de la estructura y contenido semántico de los mapas conceptuales utilizando la metodología propuesta por Lopera Pérez y Bolívar (2018), adaptada de Cañas et al. (2015).

Reflexión retrospectiva 1.

Para el análisis retrospectivo de los datos se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos de la indagación de conocimientos previos y la observación participante en el proceso. A partir de la recogida de datos realizada en el aula, el análisis incluyó:

- a) la reacción de los estudiantes ante las imágenes visualizadas;
- b) la interacción entre los integrantes del equipo en la elaboración de mapas conceptuales;
- c) la distribución del tiempo para el desarrollo de las actividades; y
- d) el interés por el tema desarrollado.

3.7.3.2 Ciclo iterativo 2: Implementación de la UEPS en estudiantes de la IE la Paz

Una vez finalizada la primera iteración y refinado el diseño, se procede a implementar la UEPS en la segunda iteración con estudiantes de la IE la Paz

Contexto de la investigación: la UEPS se implementó con estudiantes de La IE la Paz localizada en el casco urbano del municipio de Envigado – Antioquia, específicamente en la zona 7, ubicada en un estrato socioeconómico 3. La IE la Paz cuenta con 3 sedes: Trianón y Jhon F. Kennedy, que atienden estudiantes de transición y primaria; y la sede bachillerato. Desde el año 2016 es una institución incluida en el programa de jornada única, con un horario escolar de 6:30 am a 2:30 pm. La sede bachillerato cuenta con 33 grupos y 45 maestros, con un aproximado de 1483 estudiantes. Para el año 2023 el 91.5% de los estudiantes viven en el municipio de Envigado, 6.5% viven en Medellín y 2.5% son provenientes de Sabaneta. La totalidad de la población tiene acceso a servicios públicos, 95% a internet y computador. El municipio de Envigado está ubicado a 1575 msnm y está rodeado por la cordillera central. El municipio es un epicentro industrial, con datos de emisión de GEI, donde se destacan productoras de alimentos, ensambladoras de vehículos, industrias manufactureras, fábricas de elaboración y mantenimiento de equipos, servicio de transporte, entre otras de importancia nacional (IDEAM., et al. 2016). Por otro lado, es un municipio de altas construcciones para urbanización y se registran altas valorizaciones por la vivienda construida (Yepes, 2024). La Institución Educativa está ubicada a menos de 500 m del humedal el Trianón y el parque lineal la Heliadora, que cuenta con aproximadamente 25 hectáreas de reserva natural (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2018).

Grupo seleccionado para intervención: la UEPS se implementó en un grupo de 40 estudiantes de grado séptimo, con edades entre los 11 y 15 años. Sin embargo, se

privilegiaron las actividades en equipos. La instrucción inicial fue que los equipos debían realizar las actividades con los mismos participantes durante todo el proceso de intervención. Para los análisis realizados en este trabajo, se seleccionaron cuatro equipos de estudiantes, cada equipo con cuatro integrantes. Los criterios de selección fueron 1) haber realizado todas las actividades propuestas en la UEPS; 2) que en todas las actividades esté el equipo completo; 3) los cuatro equipos analizados fueron seleccionados con base en el rendimiento académico de los estudiantes, procurando representar los tres niveles de desempeño identificados en los reportes escolares: alto, medio y bajo. En la Institución Educativa La Paz, la escala de calificación oscila entre 1 y 5; se considera alto un puntaje superior a 4,0, medio entre 3,0 y 4,0, y bajo aquel inferior a 3,0.

Cada equipo se nombró con la letra E (mayúscula) y un número, así: E1, E2, E3 y E6.

Momentos de la intervención: La UEPS se programó para ser implementada durante ocho semanas de clase, cinco sesiones por semana, de 55 minutos cada una.

Recolección de información: En la recolección de información se usaron dos técnicas: revisión documental y observación participante. Estas técnicas se ajustaron a los principios de ASC seleccionados para el estudio.

- *Principio del conocimiento previo:* La indagación de conocimientos previos se hizo de manera similar a la de los estudiantes del liceo de la Universidad de Nariño, con una revisión documental de interpretación de imágenes y mapas conceptuales.

- *Principio de interacción social y cuestionamiento:* la revisión documental se realizó con las preguntas que formularon los estudiantes, asociadas a imágenes problemáticas o reflexivas, lecturas, videos comerciales y análisis de información.

- *Principio de conocimiento como lenguaje:* Revisión documental de las actividades realizadas por los estudiantes, tales como actividades experimentales, investigativas, mapas conceptuales, diseño de proyectos expuestos oralmente y por escrito.

- *Percepción y representación:* revisión documental. Con la información adquirida en diferentes contextos, los estudiantes realizan actividades de representación (narrativa o icónica) tales como diseño de experimentos, predicciones y formulan propuestas de mitigación del fenómeno;

En las actividades colaborativas se hizo observación participante, que incluyó las reacciones de los estudiantes ante las imágenes visualizadas; la interacción entre los integrantes del equipo, la distribución del tiempo para el desarrollo de las actividades y el interés por el tema desarrollado.

Análisis de la información: la información recolectada fue tratada mediante un análisis de contenido (Mayring, 2014); además, se tuvo en cuenta algunos parámetros particulares para el análisis de cada principio del ASC, que se detallan a continuación.

Principio de conocimientos previos: se usó un análisis de contenido deductivo (el mismo procedimiento realizado con el grupo de estudiantes del liceo de la Universidad de Nariño).

Interacción social y cuestionamiento: se utilizaron las metodologías propuestas por López Ríos et al. (2014) y Sanjosé y Torres (2014), la primera caracteriza las preguntas en categorías alta, media y baja; y la segunda, preguntas asociativas, predictivas y explicativas.

Conocimiento como lenguaje: se utilizó un análisis de contenido de las expresiones de los estudiantes, con énfasis en el uso de lenguaje científico relacionado al sistema climático.

Percepción-representación: se usó un análisis de contenido. Se diseñó una rúbrica de clasificación en cuatro categorías para las percepciones-representaciones, que dan cuenta de los elementos que tuvieron en cuenta para los experimentos y predicciones realizadas.

Criterios de calidad de la investigación

Para garantizar la calidad en la recolección de los datos y en el análisis de la información de esta tesis, se tuvieron en cuenta los criterios de credibilidad, transferencia, consistencia y confirmabilidad, siguiendo algunos descriptores propuestos por Rodríguez et al. (2005).

Credibilidad: el valor de la verdad, la confianza de los resultados son garantes de la investigación. Estos parten de la observación persistente y se fundamenta en la triangulación de la información para la validación de los datos. Como se dijo previamente, en la tesis se

realizaron dos tipos de triangulación de la información: una entre fuentes de información y otra comparando los datos obtenidos con el marco teórico (Cisterna Cabrera, 2005). Cada concepto propuesto tiene tres, cuatro o cinco actividades orientadoras con instrumentos de recolección diferentes que permiten comparar los resultados y generar conclusiones.

Transferencia: Descripción en profundidad, exhaustiva y minuciosa del contexto, hacerlo extensivo y generalizables a otros contextos. Además, una amplia recogida de información para facilitar la comparación entre diferentes escenarios. En la tesis se toman en cuenta las características del contexto de los participantes que incluyen factores como la de emisión de CO₂ de la zona y de elementos para la adaptación y mitigación al cambio climático.

Consistencia: establecer pistas de revisión de cómo se recogieron los datos, cómo se seleccionaron los informantes, cómo se analizaron los datos y cómo se caracterizó el contexto. En este criterio también se recurre al proceso de triangulación empleando varios instrumentos de recogida de información. En la tesis se detallan los instrumentos de recolección y análisis de datos en cada fase de la IBD.

Confirmabilidad: una representación fiel a las fuentes originales de donde se obtuvieron los datos. La auditoría de confirmabilidad se realizó a través de la revisión de los registros. La información recolectada se encuentra almacenada y custodiada tanto en archivos digitales como en documentos físicos originales.

Consideraciones éticas de la investigación

Para el desarrollo y divulgación de la presente investigación, se diseñaron los respectivos consentimientos informados para la institución y los participantes (Anexo 7). Se tuvo en cuenta la confidencialidad y custodia de la información. De igual manera, la información fue recolectada con fines exclusivamente académicos y se hizo devolución de los datos a través de las estrategias acordadas con las partes involucradas (Comité de ética de la Universidad de Antioquia, 2015).

3.7.4 Fase 4: *Análisis retrospectivo*

El análisis retrospectivo de la implementación de la UEPS se evalúa en dos dimensiones: los resultados del diseño y los resultados del aprendizaje.

3.7.4.1 Resultados del diseño

De acuerdo con Guisasola et al. (2021), el análisis de la calidad de la UEPS incluye:

- Problemas relacionados con la claridad de las actividades que deben realizar los estudiantes.
- Problemas relacionados con el tiempo necesario para completar la secuencia.
- Problemas imprevistos inherentes a la implementación de la UEPS.

3.7.4.2 Resultados de aprendizaje

Los indicios de aprendizaje fueron identificados a lo largo de la implementación de una UESP, mediante la valoración de los principios del ASC seleccionados:

- Conocimientos previos y conocimientos adquiridos después de la implementación de la UEPS.
- Interacción social y cuestionamiento.
- Conocimiento como lenguaje.
- Percepción-representación.

En el rediseño de la UEPS se tuvieron en cuenta aspectos como redefinición de instrucciones de las actividades, rediseño de la secuencia de actividades; rediseño de los requisitos previos de la secuencia y sus actividades y los que emergieron de los resultados de la reflexión retrospectiva (Guisasola, et al 2021).

Capítulo 4. Resultados y discusión

Este capítulo presenta los resultados de la investigación, organizados según las cuatro fases de la Investigación Basada en Diseños (IBD), las cuales se articulan directamente con los objetivos específicos planteados para el estudio. Cada fase expone los hallazgos obtenidos, permitiendo una comprensión progresiva del proceso de diseño, implementación y análisis de la propuesta pedagógica.

En la fase 1 (objetivos 1 y 2) se exponen los resultados de la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) sobre los núcleos temáticos y variables de análisis de: Educación para el Cambio Climático (ECC) y Aprendizaje Significativo Crítico (ASC). Este análisis permitió identificar variables emergentes, que constituyeron la base conceptual y didáctica para las fases posteriores.

La fase 2 (objetivo 3) se centra en el diseño de la Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (UEPS), construida a partir de los hallazgos de la RSL e integrada con los referentes curriculares nacionales. En esta etapa se consolidó una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de grado séptimo, orientada por los principios del ASC.

En la fase 3 (objetivo 4) se presentan los resultados de las dos iteraciones del diseño: la primera correspondió a la validación por pares expertos, que incluyó una implementación parcial en aula y una reflexión retrospectiva para ajustar el diseño; la segunda consistió en la implementación completa de la UEPS detallando los hallazgos de la implementación del diseño.

Finalmente, la fase 4 reúne los resultados del análisis retrospectivo, donde se valoran los ajustes finales al diseño, se evalúa su impacto educativo y se destacan los indicios de ASC a partir de los principios del conocimiento previo, la interacción social y el cuestionamiento, el conocimiento como lenguaje y la percepción–representación. que contribuyeron al fortalecimiento del aprendizaje y de la propuesta pedagógica.

A continuación, se exponen los resultados de cada fase, en coherencia con el hilo metodológico propio de la IBD y de los objetivos específicos de la investigación.

4.1 Fase 1: Revisión Sistemática de Literatura

Esta revisión de literatura da respuesta al objetivo 1 de la investigación, donde se recopiló información sobre la ECC y el ASC, provenientes de diversas revistas internacionales y nacionales, las cuales se detallan en la tabla 6.

Tabla 6.

Revisión de literatura en revistas internacionales y nacionales

Revistas – Universidades	Artículos referentes a ECC	Artículos referentes a ASC	Artículos referentes a ECC y ASC
Aprendizagem Significativa em Revista	0	1	0
Bio-graía	0	5	0
Cuadernos Brasileiros de Ensino de Física	0	1	0
Ciência y Educação	0	2	0
Dynamics	0	2	0
Experiências em Ensino de Ciências	0	4	0
RECHDECS	0	1	0
Revista científica	0	1	0
Revista de ensino de ciencias e matemática	0	1	0
Revista do Professor de Física	0	1	0
Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa	0	1	0
Revista electrónica de investigación en educación en ciencias	0	1	0
Revista REAMEC	0	2	0
Revista Thema	0	1	0
Tecné, epistemé and didaxis	0	1	0
Universidad de Antioquia	0	2	0
Universidad de Burgos	0	1	0
Alteridad. Revista de Educación	1	0	0
American Educator	1	0	0
Climate Risk Management	1	0	0
Current Perspectives in Social Sciences	1	0	0
Curriculum Perspectives	1	0	0
Educación y educadores	1	0	0
Education in the knowledge society	1	0	0
Education Sciences	1	0	0
Educational Research for Social Change	1	0	0
Educational studies	1	0	0
Electronic journal for research in science y mathematics education	1	0	0
Energy Research y Social Science	1	0	0
Enseñanza de las ciencias	2	0	0
GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica	1	0	0

Revistas – Universidades	Artículos referentes a ECC	Artículos referentes a ASC	Artículos referentes a ECC y ASC
International Journal of Environmental and Science Education	1	0	0
International Journal of Research in Education and Science (IJRES)	1	0	0
Investigaciones Geográficas	1	0	0
Investigações em Ensino de Ciências	1	0	0
JISTE, Journal of the International Society for Teacher Education	1	0	0
Journal of Baltic Science Education	1	0	0
Journal of research in science teaching	1	0	0
Journal of Science Education and Technology	1	0	0
Journal of Technology and Science Education	2	0	0
London Review of Education	1	0	0
MÉTODO Science Studies Journal	1	0	0
MLS-Educational Research	1	0	0
Pedagogía social Revista interuniversitaria	1	0	0
Pegem Journal of Education and Instruction	1	0	0
Perfiles educativos	2	0	0
Revista de Ciencias Sociales	1	0	0
Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales	1	0	0
Revista científica	1	0	0
Revista de Ciencias Humanas y Sociales	1	0	0
Revista de Estudios y Experiencias en Educación	1	0	0
Revista do professor de física	1	0	0
Revista Electrónica Diálogos Educativos	1	0	0
Revista Electrónica Educare	1	0	0
Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias	2	0	0
Revista Iberoamericana de Educación	2	0	0
Revista Mexicana de Investigación Educativa	1	0	0
Revista papeles	1	0	0
Science Educator	1	0	0
The Journal of Environmental Education	1	0	0
XXVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía	1	0	0
Total	49	28	0

En esta revisión se registraron estudios referentes a la ECC en la enseñanza de las ciencias y al ASC para estudiantes de secundaria; sin embargo, hasta el momento, no se encontraron estudios que relacionaban ambas temáticas: ASC en la ECC.

A continuación, se exponen los análisis y hallazgos de cada variable analizada.

4.1.1 Elementos de la ECC para el diseño de la UEPS

Los criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda en la revisión sistemática se describen en la tabla 7. Se seleccionaron documentos de los últimos 11 años, de artículos que aportaron información conceptual y de materiales educativos para la ECC. La población de interés son estudiantes de básica secundaria con edades que oscilan entre los 11 y 15 años.

Tabla 7.

Criterios de inclusión y exclusión para la revisión de literatura de ECC

Criterios	Inclusión	Exclusión
Idioma	Inglés, español y portugués	Otras lenguas
Año de publicación	Últimos 11 años (2014 – 2024)	Antes de 2014 y posteriores al 2024
Tipología	Artículos de investigación	Tesis, trabajos de grado, capítulos de libros etc.
Población	Estudiantes de básica secundaria	Estudiantes de primaria, estudiantes en formación estudiantes universitarios
Contenido	Investigaciones implementadas en el aula. Propuestas de investigación. Revisiones de literatura	Reflexiones, experiencias, análisis de libros de texto,

En el proceso de identificación de documentos, en la primera entrada se registraron 72.262 artículos y después de aplicar los filtros quedaron 933 documentos (Tabla 8).

Tabla 8.

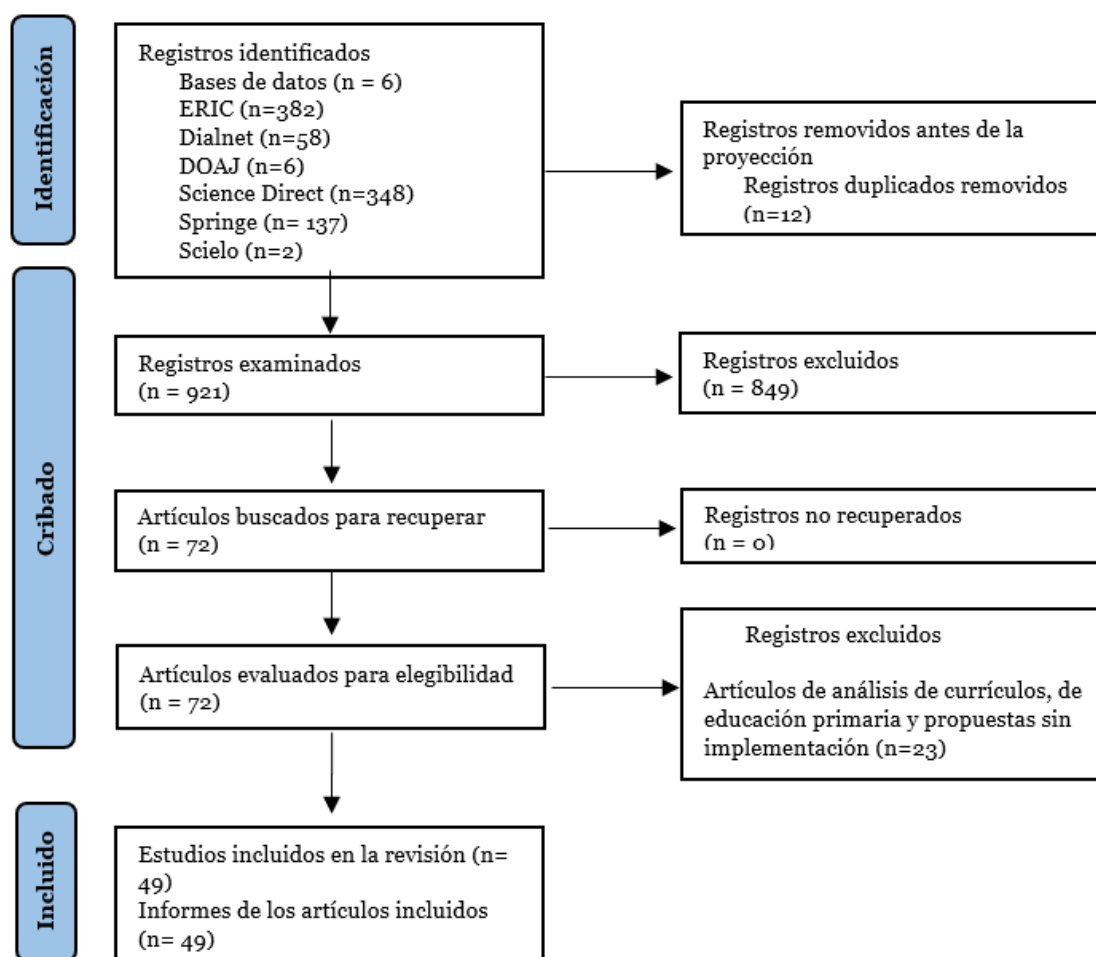
Resultados obtenidos de cada base de datos

Base de datos	Descriptores	Total de artículos	Artículos después de aplicar filtros
ERIC	Climate Change Education (CCE) + secondary students (middle school)	23949	382
Dialnet	ECC + Enseñanza secundaria	113	58
DOAJ	CCE + secondary education (middle school)	6	6
Science Direct	CCE + secondary students (middle school)	1123	348
Springer nature link	CCE + secondary students (middle school)	47062	137
Scielo	CCE + secondary students (middle school)	9	2

Una vez se realizó la aplicación del primer filtro, se eliminaron 12 artículos duplicados, quedando un total de 921. Se leyeron los títulos y resúmenes con información de conceptos y estrategias pedagógicas de ECC. Se excluyeron 849 artículos correspondientes a análisis de libros de texto, estudios dirigidos a maestros en formación y análisis de currículos; dando lugar al análisis de 49 artículos. El proceso de selección de artículos se describe en la figura 7.

Figura 7.

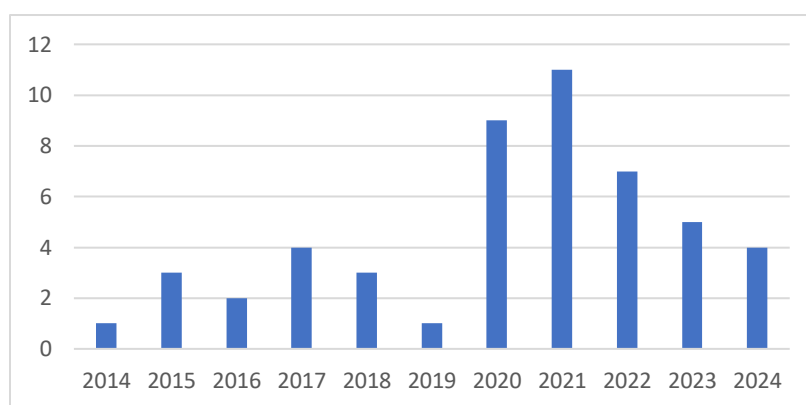
Diagrama de flujo para la selección de artículos. Adaptado de PRISMA 2020



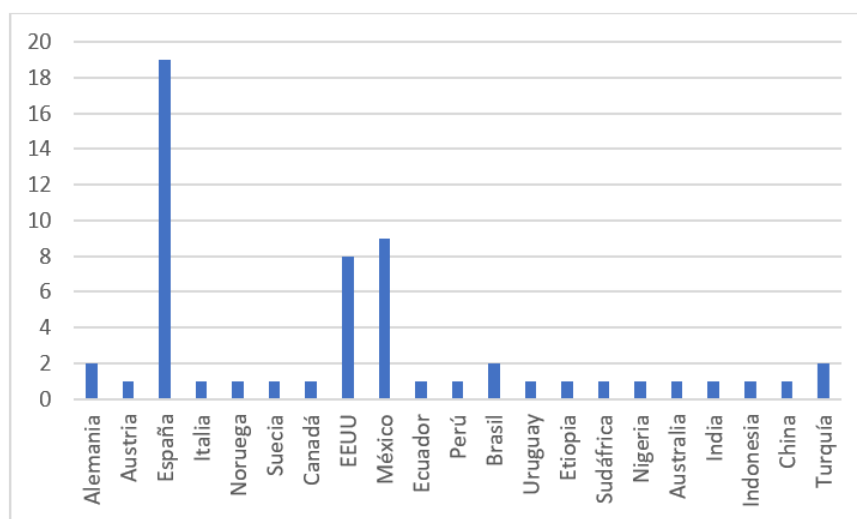
Los estudios sobre ECC implementados con estudiantes de secundaria han aumentado en los últimos cinco años (Figura 8); esto es posiblemente, porque coincide con el periodo de pandemia y pospandemia y se hicieron más visibles las alteraciones en los eventos atmosféricos, como la elevación de temperatura, la intensidad de las lluvias, el incremento de CO₂ y su necesidad de estudiarlo (IPCC, 2021a).

Figura 8.

Publicaciones de ECC para secundaria en los últimos 11 años



Los países con mayor número de estudios fueron España, EE.UU. y México. En contraste, en regiones como América del Sur, Asia, África y Australia, la frecuencia de publicaciones fue menor (Figura 9). El análisis del conjunto de estudios pone de manifiesto la colaboración entre países; por ejemplo, España y México realizaron tres estudios en conjunto, mientras que Noruega, China, Suecia y Canadá participaron en un estudio colaborativo, al igual que Austria e Italia.

Figura 9.*Publicaciones de ECC por país*

4.1.1.1 Contenidos de la Educación para el Cambio Climático en secundaria

En este apartado, el término contenidos se utiliza para referirse a los elementos conceptuales, temáticos y formativos identificados en la literatura, los cuales orientan la enseñanza del cambio climático en el contexto escolar.

Los patrones emergentes del análisis de contenido establecieron 4 variables emergentes relacionadas con la ECC.

Variable 1: Contenidos asociados al sistema climático y sus cambios.

Variable 2: Contenidos asociados a las causas del cambio climático.

Variable 3: Contenidos asociados a las consecuencias del cambio climático.

Variable 4: Contenidos asociados a la mitigación y adaptación del cambio climático.

A continuación, se detallan los hallazgos de los contenidos asociados a cada categoría

4.1.1.1.1 Contenidos asociados al sistema climático y a sus cambios. De acuerdo con la literatura, la estructura de la educación climática puede dividirse en dos secciones; la primera se relaciona con los contenidos que conforman el clima y la segunda, con la manera de abordar el cambio climático y su impacto en los territorios. En la primera sección se

relacionan los elementos del clima; algunos autores la nombran como *alfabetización climática* o el *conocimiento de sistema climático* y abarca contenidos interdisciplinarios dentro de la educación en ciencias naturales y sociales (Tabla 9). Los contenidos más frecuentes se relacionan con Gases de Efecto Invernadero (GEI) (42.4%), efecto invernadero (33.3%), calentamiento global (24,2%), movilización de la energía de la tierra (24.2%) y las diferencias entre tiempo atmosférico y clima (15.2%). Cabe destacar que uno de los GEI es el CO₂, probablemente, el gas que ha sufrido mayor alteración en los últimos tiempos debido a sus altas emisiones antropogénicas (IPCC, 2021a). Esto ha impulsado el estudio de conceptos como el ciclo del carbono (21.2%), fotosíntesis (6.1%), redes tróficas (6.1%), respiración (3%), huella de carbono (9,1%) y combustión (6.1%). Por otro lado, los eventos atmosféricos extremos relacionados con lluvias y sequías, han llevado a incluir contenidos relacionados con el ciclo del agua (3%).

La segunda sección hace referencia a la incorporación de conceptos vinculados al cambio climático como la sostenibilidad, la emergencia climática y la justicia social y ambiental (Tabla 9).

Tabla 9.

Contenidos asociados al sistema climático y sus cambios en la Educación para el Cambio Climático

	Contenidos	Frecuencia (%)	Autores
Alfabetización climática o sistema climático	Alfabetización climática	48.5	Açıklan et al., (2024); Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Bello Benavides et al., (2017); Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Cruz y Páramo (2020); Fuertes et al., (2020); García-Vinuesa et al., (2022); González Gaudiano et al., (2020); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Morote y Olcina (2021a); Moser et al., (2021); Mostacedo-Marasovic et al., (2024); Navarro et al., (2020); Roychoudhury et al., (2017); Stevenson et al., (2017).
	Sistemas climáticos – ciencia del clima		
	Tiempo atmosférico y clima (variables climáticas)	15,2	Bello et al., (2017); Cartwright et al., (2021); Heras (2016); Roychoudhury et al., (2017); Sanchis Gual et al., (2018).
	Cambio de temperatura	15.2	Covitt et al., (2021); Fuertes et al., (2020); Mostacedo-Marasovic et al., (2024); Roychoudhury et al., (2017); Velilla Gil et al., (2021)
	Sistemas de la tierra	9.1	Fuertes et al., (2020); Mostacedo-Marasovic et al., (2024)
	Meteorología	3	Schauss y Sprenger (2019)

Contenidos	Frecuencia (%)	Autores
Efecto invernadero	33,3	Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides Benavides et al., (2021); Calixto Flores (2015); Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); Fuertes et al., (2020); Gebeyehu et al., (2024); Nafisah et al., (2022); Navarro et al., (2020); Roychoudhury et al., (2017)
Gases de Efecto Invernadero	42.4	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al., (2021); Calixto Flores (2022); Carrascosa-Alis Alis et al., (2020); Cartwright et al., (2021); Cook (2022); Fuertes et al., (2020); García-Vinuesa et al., (2022); Gebeyehu et al., (2024); Morote, (2023); Navarro et al., (2020); Schauss y Sprenger (2019); Velilla Gil et al., (2021).
Factores geográficos (relieve, hidrografía, zonas bioclimáticas)	6.1	Morote y Olcina (2021b); Velilla Gil et al., (2021)
Energía de la tierra	24,2	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Fuertes et al., (2020); Muller y Wood (2021); Roychoudhury et al., (2017); Siegner (2018); Soroña y García, (2020)
Recursos naturales	3	Morote y Olcina (2021b)
Factores bióticos y abióticos	3	Korsager y Slotta (2015)
Cadenas tróficas (cadena alimenticia) flujo de energía	6,1	Covitt et al., (2021); Muller y Wood (2021)
Ciclo del carbono	21,2	Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Fuertes et al., (2020); Gebeyehu et al., (2024); Navarro et al., (2020); Roychoudhury et al., (2017); UNESCO (2017); Zangori et al., (2017)
Transformación del carbono desde el nivel atómico al global	3	Covitt et al., (2021)
Fotosíntesis	8.3	Boronat-Gil et al., (2018); Covitt et al., (2021); Zangori et al., (2017)
Producción de alimentos	3	Siegner (2018)
Respiración celular	5.6	Covitt et al., (2021)
Ciclo del nitrógeno	3	Fuertes et al., (2020)
Ciclo del agua	3	Fuertes et al., (2020)
El albedo	3	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023)
El agua y el CC	6,1	Siegner (2018); Soroña y García (2020)
Reacciones ácido – base	3	Boronat-Gil et al., (2018)
Curva de Kelling	3	Covitt et al., (2021)
Huella de carbono	9,1	Heras (2016); Siegner (2018); Soroña y García (2020)
Calentamiento global	24,2	Alp y Coskun (2023); Calixto Flores (2015); Falaye y Okwilagwe (2016); García-Vinuesa et al., (2022); Jones et al., (2022); Morote (2023); Morote y Olcina, (2021a); Nafisah et al., (2022)

	Contenidos	Frecuencia (%)	Autores
Educación para el cambio climático	Combustión	6,1	Covitt et al., (2021); Soroña y García (2020)
	Educación para el cambio climático (compromiso social y humano)	12,1	Açikalın et al., (2024); Bello Benavides et al., (2017); Covitt et al., (2021); Stevenson et al., (2017)
	Cambio climático	24,2	Calixto Flores (2022); Canaza-Choque et al., (2021); Cook (2022); Garbarino, (2023); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Sanchis Gual et al., (2018); Soroña y García (2020)
	Sostenibilidad ambiental	6,1	González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Nafisah et al., (2022)
	Representaciones sociales de medios de comunicación	3	Calixto Flores (2015)
	Justicia social y ambiental	3	González Gaudiano y Meira Cartea (2020)
	Creencias profanas	3	Bello Benavides et al., (2021)
	emergencia climática	3	Moser et al., (2021)

Estos hallazgos concuerdan con la propuesta de varios autores (Açikalın et al., 2024; Agosta Scarel & Cuetos Revuelta, 2023; Covitt et al., 2021; Fuertes et al., 2020; González Gaudiano et al., 2020; González Gaudiano & Meira Cartea, 2020; Moser et al., 2021; Mostacedo-Marasovic et al., 2024; Soroña y García, 2020; Stevenson et al., 2017; Velilla Gil et al., 2021), en la que la ECC se inicia con una fase de alfabetización climática profunda, considerando aspectos biológicos, ecológicos, meteorológicos, físicos, químicos, geográficos, territoriales y de comportamiento social; con estos insumos vendría una segunda fase en la que los estudiantes participan en la toma de decisiones con respecto al Cambio Climático. González Gaudiano y Meira Cartea (2020) hacen una reflexión al respecto de la educación para el cambio climático en estudiantes de bachillerato, se debe “educar sobre el clima, para enfrentar el cambio”.

Bello Benavides et al., (2017) proponen una estructura de cuatro dimensiones: biofísica, antrópica, social y económica; y Navarro et al., (2020) una distribución en cinco partes: Sistema clima, presiones, causas, consecuencias y estrategias; cada una de ellas considerando elementos de las ciencias naturales y sociales. Sin embargo, estos contenidos son congruentes con la estructura de alfabetización climática y toma de decisiones para el cambio climático, descritas por los autores antes mencionados.

De acuerdo con la información recopilada, los contenidos que han abordado los investigadores para la alfabetización climática abarcan conceptos que influyen en la formación del clima: fuentes de energía, efecto invernadero, GEI, ciclo del carbono, fotosíntesis, ciclo del agua (causas naturales) y combustión (causa antropogénica) y algunas consecuencias de las variaciones climáticas como la curva de Kelling, la huella de carbono o el calentamiento global. No obstante, hay numerosos estudios que mencionan las causas y las consecuencias, con conceptos específicos que se analizan a continuación.

4.1.1.1.2 Conceptos asociados a las causas del cambio climático. En la comprensión del cambio climático es indispensable conocer las causas del fenómeno en pro de buscar alternativas de solución. En la literatura referente a esta categoría, el 40% de estudios hace alusión a que se deben conocer las causas del cambio climático, sin especificar los contenidos que se deben tener en cuenta. Otros autores mencionan que se deben considerar las *causas naturales* (35%) que alteran los procesos climáticos y las *causas antropogénicas* (80%) que están acelerando drásticamente los cambios en el clima (Tabla 10).

Tabla 10.

Contenidos asociados a las causas en la Educación para el Cambio Climático

GEI	Contenidos	Frecuencia %	Autor
	Sin especificar	40	De Melo et al., (2024); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Jones et al., (2022); Mulero et al., (2022); Roychoudhury et al., (2017); Schrüfer et al., (2020); Velilla Gil et al., (2021); Xie et al., (2014)
	Naturales	35	Bello Benavides et al., (2021); Calixto Flores (2015, 2022); Cartwright et al., (2021); Fuertes et al., (2020); Nafisah et al., (2022); Sánchez Almodóvar et al., (2023)
	Antropogénicas	80	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Bello Benavides et al., (2017, 2021); Boronat-Gil et al., (2018); Calixto Flores (2022); Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Cruz y Páramo (2020); Fuertes et al., (2020); Garbarino (2023); García-Vinuesa et al., (2022); Morote y Olcina (2021a); Mostacedo-Marasovic et al., (2024); Nafisah et al., (2022); Sánchez Almodóvar et al., (2023)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Emisiones de Carbono	25	Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al., (2017); Calixto Flores (2015, 2022); Falaye y Okwilagwe (2016)
	Fábricas	20	Bello Benavides et al., (2017); Calixto Flores (2022); Navarro et al., (2020); Velilla Gil et al., (2021)
	Consumo de petróleo	25	Bello Benavides et al., (2017, 2021); Boronat-Gil et al., (2018); Muller y Wood (2021a); Navarro et al., (2020)
	Exceso de vehículos	10	Bello Benavides et al., (2017); Navarro et al., (2020)

GEI	Contenidos	Frecuencia %	Autor
	Escases de sumideros de carbono	5	Navarro et al., (2020)
	Deforestación	15	Bello Benavides et al., (2017); Falaye y Okwilagwe (2016); Morote (2023)
	Explotación de recursos	15	Bello Benavides et al., (2017); Boronat-Gil et al., (2018); Morote (2023)
	Exceso de consumo	10	Bello Benavides et al., (2017); Navarro et al., (2020)
	Mal manejo de basuras	15	Bello Benavides et al., (2017); Calixto Flores (2022); Navarro et al., (2020)
CO ₂ H ₂ O	Desperdicio de energía	5	Navarro et al., (2020)
CO ₂ H ₂ O	Urbanización (construcciones)	10	Navarro et al., (2020); Velilla Gil et al., (2021)
CH ₄	Consumo de carne	5	Bello Benavides et al., (2021)
	Agricultura	5	Navarro et al., (2020)
CO ₂ H ₂ O	Crecimiento económico	5	Navarro et al., (2020)
CO ₂	Contaminación	10	Calixto Flores (2022); Morote (2023)
CO ₂ H ₂ O	Crecimiento poblacional	10	Boronat-Gil et al., (2018); Navarro et al., (2020)
	Falta de conciencia	10	Bello Benavides et al., (2017); Morote (2023)

La información recolectada permitió identificar que, aunque en el sistema climático intervienen diversos GEI, la ECC suele centrarse principalmente en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y, en menor medida, en el metano (CH₄) y el vapor de agua. Esto podría explicarse porque son los gases sobre los cuales la actividad humana ha ejercido mayor influencia a través de la industrialización, el consumo y la urbanización, y porque representan ámbitos concretos en los que es posible actuar para proponer alternativas de mitigación y solución (IPCC, 2021b).

4.1.1.1.3 Contenidos asociados a las consecuencias del CC. Las consecuencias del cambio climático son numerosas e impactan en varias dimensiones. De acuerdo con la clasificación de Navarro et al. (2020), las consecuencias pueden estimarse desde un impacto natural, social y económico. Los contenidos más frecuentes en la revisión sistemática enfatizan en los impactos naturales mediante los cambios en los patrones meteorológicos como aumentos de temperatura, calentamiento global; los impactos en el océano con el aumento del nivel del mar, en la pérdida de biodiversidad y especies cambiantes, la erosión e inundaciones y el

aumento de GEI que provocan calentamiento global. Los impactos sociales se estudian con el incremento de enfermedades, crisis alimentarias, las migraciones y los conflictos bélicos y, a nivel económico con la agricultura, el turismo y los daños en la infraestructura (Tabla 11).

Tabla 11.

Contenidos asociados a las consecuencias del CC.

	Contenidos	Frecuencia %	Autor
	Sin especificar	13,2	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); De Melo et al., (2024); Garbarino (2023); Schrüfer et al., (2020); Xie et al., (2014)
	Impactos del Cambio climático	10,5	Alp y Coskun Onan (2023); Jones et al., (2022); Mulero et al., (2022); Roychoudhury et al., (2017)
Naturales: meteorológicos	Cambios en los patrones meteorológicos (extremos)	36,8	Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al., (2017, 2021); Calixto Flores (2015, 2022); Cartwright et al., (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); Gebeyehu et al., (2024); Korsager y Slotta (2015); Morote y Olcina (2021a); Mulero et al., (2022); Nafisah et al., (2022); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Stevenson et al., (2017)
	Precipitaciones fuertes	2,6	Velilla Gil et al., (2021)
	Olas de calor	7,9	Morote y Olcina (2021); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Stevenson et al., (2017)
	Tormentas severas	13,2	Calixto Flores (2022); Gebeyehu et al., (2024); Morote y Olcina (2021); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Stevenson et al., (2017)
	Impactos del Calentamiento Global (aumentos de temperatura)	21,1	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Bello Benavides et al., (2017); Gebeyehu et al., (2024); Morote (2023); Mostacedo-Marasovic et al., (2024); Navarro et al., (2020); Roychoudhury et al., (2017); Sánchez Almodóvar et al., (2023)
Naturales: impacto en océanos	Impacto ambiental	10,5	Açikalın et al., (2024); Bello Benavides et al., (2017); García-Vinuesa et al., (2022); Heras (2016)
	Impacto en los océanos	2,6	Velilla Gil et al., (2021)
	Aumento del nivel del mar	28,9	Açikalın et al., (2024); Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al., (2017, 2021); Carrascosa-Alis Alis et al., (2020); Cartwright et al., (2021); Covitt et al., (2021); Korsager y Slotta (2015); Morote (2023); Sánchez Almodóvar et al., (2023)
	Cambios en acidificación (pH) en océanos	2,6	Korsager y Slotta (2015)
	Corrientes oceánicas cambiantes	2,6	Korsager y Slotta (2015)

	Contenidos	Frecuencia %	Autor
Naturales: atmosféricos	Concentraciones de CO ₂ (huella de carbono)	5,3	Covitt et al., (2021); Mostacedo-Marasovic et al., (2024)
	Smog neblina	2,6	Korsager y Slotta (2015)
	Efectos de GEI de automóviles	2,6	Korsager y Slotta (2015)
	Contaminación industrial	5,3	Korsager y Slotta (2015); Muller y Wood (2021)
Naturales: Biodiversidad	Deforestación	5,3	Korsager y Slotta (2015); Morote y Olcina (2021)
	Incendios forestales	5,3	Açıkalm et al., (2024); Stevenson et al., (2017)
	Impacto en ecosistemas, biodiversidad	23,7	Bello Benavides et al., (2017); Cartwright et al., (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Korsager y Slotta (2015); Navarro et al., (2020); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020)
	Especies invasoras	2,6	Morote (2023)
Naturales: Riesgos de desastres	Incremento de los riesgos naturales	7,9	Bello Benavides et al., (2017); Morote (2023); Stevenson et al., (2017)
	Inundaciones	10,5	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Gebeyehu et al., (2024); Morote y Olcina (2021); Nafisah et al., (2022)
	Derretimiento de glaciares y nieve	15,8	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Bello Benavides et al., (2017); Calixto Flores (2015); Covitt et al., (2021); Korsager y Slotta (2015); Morote (2023)
	Lluvia acida	5,3	Bello Benavides et al., (2021); Korsager y Slotta (2015)
	Erosión y formación de desiertos	18,4	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al., (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); Jones et al., (2022); Korsager y Slotta (2015); Morote y Olcina (2021)
	Inundaciones y pérdidas de las zonas costeras	7,9	Açıkalm et al., (2024); Bello Benavides et al., (2017); Korsager y Slotta (2015)
	Sequías	15,8	Calixto Flores (2022); Gebeyehu et al., (2024); Korsager y Slotta (2015); Morote y Olcina (2021); Nafisah et al., (2022); Stevenson et al., (2017)
Naturales: recursos	Agotamiento de recursos naturales	2,6	Morote (2023)
	Pérdida de fuentes de agua	5,3	Açıkalm et al., (2024); Calixto Flores (2022)
Sociales: alimentaria, salud, migraciones,	Impactos en la sociedad	18,4	Açıkalm et al., (2024); Alp y Coskun (2023); Bello Benavides et al., (2017); Cartwright et al., (2021); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Heras (2016); Jones et al., (2022); Mulero et al., (2022); Navarro et al., (2020); Sánchez Almodóvar et al., (2023); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020); Velilla Gil et al., (2021)
	Desplazamiento de humanos (migración)	7,9	Calixto Flores (2022); Navarro et al., (2020); Velilla Gil et al., (2021)
	Crisis alimentaria	7,9	Bello Benavides et al., (2017); Calixto Flores (2022); Velilla Gil et al., (2021)

	Contenidos	Frecuencia %	Autor
	Aumento de enfermedades	13,2	Açıkalin et al., (2024); Bello Benavides et al., (2017); Morote (2023); Navarro et al., (2020)
	Conflictos bélicos	5,3	Morote (2023); Navarro et al., (2020)
	Impacto económico	15,8	Açıkalin et al., (2024); Bello Benavides et al., (2017); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Jones et al., (2022); Navarro et al., (2020); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020)
Económicos	Impacto en la agricultura	10,5	Açıkalin et al., (2024); Calixto Flores (2022); Falaye y Okwilagwe (2016); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020)
	Daños a infraestructura, comunicaciones y transporte	2,6	Calixto Flores (2022)
	Turismo	2,6	Açıkalin et al., (2024)

Si bien los impactos naturales son los más documentados y quizá los más visibles representados en los riesgos naturales, es necesario vincular e interconectar las consecuencias sociales y económicas en la ECC, para la generación de conciencia y soluciones adaptativas que sean integradas y sostenibles (Açıkalin et al., 2024; Morote & Olcina, 2021a).

4.1.1.1.4 Contenidos asociados a las estrategias de adaptación y mitigación en la ECC. Los contenidos relacionados con las estrategias de adaptación y mitigación se enmarcaron en cuatro aspectos alusivos a la Educación Ambiental (EA) (Sauvé, 2017), como se muestra en la tabla 12:

- 1) Crear hábitos que conecten con la vida cotidiana, con el estilo de vida, patrones de consumo y desarrollo sostenible (20%).
- 2) Gestión de riesgos, principalmente, en riesgos por desastres y resiliencia climática (26,66%).
- 3) En el desarrollo de competencias y habilidades, aprender a aprender, a pensar críticamente y desarrollo de creatividad e innovación (10%).
- 4) Estrategias, soluciones y acciones para el cambio, donde se promueven acciones concretas de gestión de residuos, uso de energías alternativas y acciones que se hacen en las comunidades (50%).

En este punto, se reconocen los impactos del cambio climático en las comunidades (IPCC, 2021a) y el papel de la EA en la adaptación y mitigación del fenómeno, orientados a fomentar hábitos sostenibles y a analizar críticamente los patrones de consumo y los estilos

de vida. Asimismo, la EA promueve el uso de estrategias comunitarias pertinentes a las problemáticas de cada contexto, así como la preparación y respuesta ante desastres y la reducción del riesgo asociado a ellos (UNESCO, 2017).

Tabla 12.

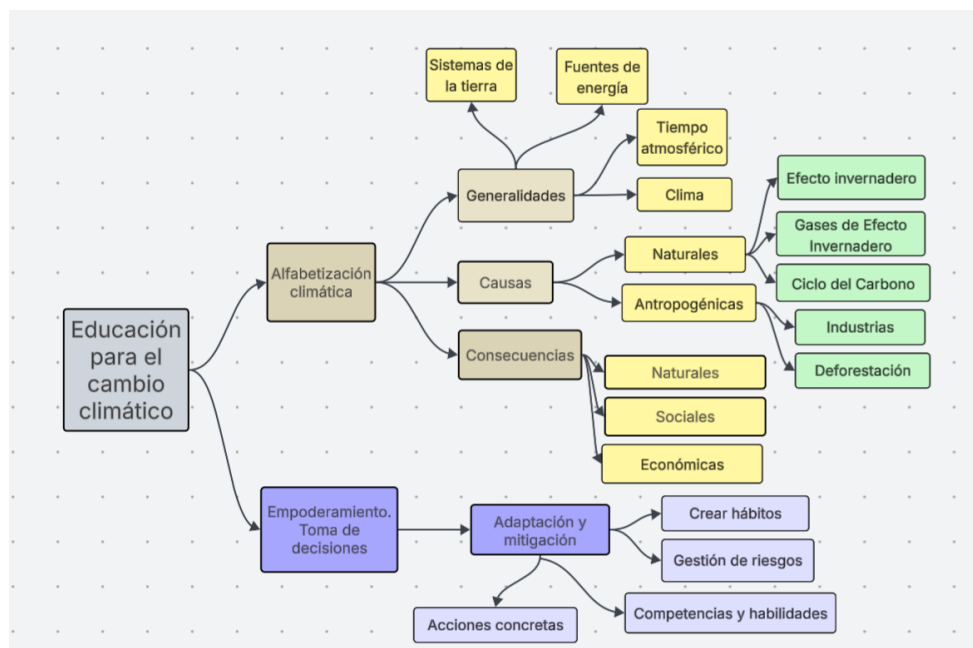
Contenidos asociados a la adaptación y mitigación en la Educación para el Cambio Climático

	Contenidos asociados a la adaptación y mitigación	Frecuencia %	Autor
EA: creación de hábitos	Adaptación/mitigación (estrategias, soluciones, acciones)	23,33	Bello Benavides et al., (2021); Calixto Flores (2015); Cartwright et al., (2021); Cook (2022); De Melo et al., (2024); Fuertes et al., (2020); Garbarino (2023); Heras (2016); Jones et al., (2022); Mulero et al., (2022); Nafisah et al., (2022); Schrüfer et al., (2020); Xie et al., (2014)
	Educación ambiental (EA)	3,33	Gavilanes y Tipán (2021)
	Crear hábitos en individuos	3,33	Açikalın et al., (2024)
	Desarrollo sostenible	6,67	Morote y Olcina (2021); Navarro et al., (2020)
	Conexión con la vida cotidiana	3,33	González Gaudiano et al., (2020)
	Postura crítica en estilo de vida	3,33	González Gaudiano et al., (2020)
	Patrones de consumo, producción y distribución	3,33	González Gaudiano et al., (2020)
EA: gestión de riesgos	Impactos, vulnerabilidad y adaptación	3,33	Fuertes et al., (2020)
	Resiliencia climática	10,00	Fuertes et al., (2020); Gebeyehu et al., (2024); Jones et al., (2022)
	Riesgos, amenazas, percepciones	3,33	Sánchez Almodóvar et al., (2023)
	Gestión de riesgos (de desastres)	10,00	Fuertes et al., (2020); Schrot et al., (2021); Stevenson et al., (2017)
	Justicia social	3,33	Stevenson et al., (2017)
EA: competencias	Desarrollar la creatividad y la innovación.	3,33	Velilla Gil et al., (2021)
	Ser capaz de pensar críticamente.	3,33	Velilla Gil et al., (2021)
	Ser competente para “aprender a aprender”.	3,33	Velilla Gil et al., (2021)
EA: Estrate	Creación de políticas de mitigación	3,33	Fuertes et al., (2020)
	Estrategias que usan las comunidades	6,67	Gebeyehu et al., (2024); Muller y Wood (2021)

Contenidos asociados a la adaptación y mitigación	Frecuencia %	Autor
Sistema climático para medidas de mitigación y adaptación	3,33	Açıklalın et al., (2024)
Reforestación	3,33	Bello Benavides et al., (2021)
Alternativas de transporte	3,33	Bello Benavides et al., (2021)
Uso de energías alternativas	6,67	Siegner (2018); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020)
Gestión de residuos	6,67	Calixto Flores (2022); Sónora Luna y Garcia-Vinuesa (2020)
Reutilizar	3,33	Calixto Flores (2022)
Manejo adecuado del agua	3,33	Calixto Flores (2022)
Producción de alimentos (huerta)	3,33	Siegner (2018)
Estrategia DOT (pequeñas acciones)	3,33	Muller y Wood (2021)
Capitalismo verde	3,33	González Gaudiano et al., (2020a); González, et al., (2020b)

En síntesis, los contenidos asociados a la ECC se estructuran en dos dimensiones complementarias. La primera se centra en el desarrollo de la alfabetización climática, abordada desde las ciencias naturales y las ciencias sociales. La segunda se orienta hacia la toma de decisiones y la acción para la adaptación y mitigación, fundamentada en los principios de la educación ambiental (Figura 10). En este sentido, la ECC constituye un punto de convergencia entre la educación científica y la educación ambiental. Sauvé (2010) destaca la necesidad de integrar ambos campos para analizar la complejidad de las problemáticas socioecológicas y la naturaleza de los desafíos que implica su resolución. La autora denomina a esta articulación una educación ecocientífica, que busca formar ciudadanos capaces de comprender las realidades de su contexto y participar activamente en los asuntos públicos relacionados con el ambiente.

Figura 10.
Contenidos asociados a la ECC en secundaria



Fuente: Elaboración propia. (Programa cmaptools)

4.1.1.2 Estrategias pedagógicas y recursos educativos en la ECC. Las estrategias pedagógicas y los recursos educativos en la enseñanza del cambio climático son variados y dinámicos (Tabla 13). La mayoría de autores utilizan diversidad de herramientas pedagógicas y didácticas para el estudio del fenómeno. Es evidente una fuerte inclinación por indagar los conocimientos previos de los estudiantes (72% de los estudios) para construir los conocimientos asociados al fenómeno. El fenómeno del cambio climático es familiar para los estudiantes, pues se escucha frecuentemente en las noticias, se asocia con fenómenos meteorológicos, circula frecuentemente información por redes de comunicación; sin embargo, esa información no tiene un sustento conceptual y por ende, se genera confusión y malinterpretación del fenómeno (Nicholson, 2005).

Esta es una de las razones por las que se indagan los conocimientos previos y, con esa información, se diseñan planes de clase para un aprendizaje efectivo.

Tabla 13.

Estrategias y recursos educativos reportados en la revisión de literatura sobre ECC

Estrategias y recursos educativos	Autores	Frecuencia (%)
Construcción de conocimientos	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Calixto Flores (2015); Cruz y Páramo (2020); Falaye y Okwilagwe (2016); Gebeyehu et al. (2024); Schrot et al. (2021); Sónora Luna y García-Vinuesa (2020); Velilla Gil et al. (2021)	19.2
Conocimientos previos	Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al. (2017, 2021); Boronat-Gil et al. (2018); Calixto Flores (2015, 2022); Canaza-Choque et al. (2021); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020); Cartwright et al. (2021); Cook (2022); De Melo et al. (2024); Falaye y Okwilagwe (2016); Garbarino (2023); García-Vinuesa et al. (2022); Gebeyehu et al. (2024); González Gaudiano et al. (2020); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Heras (2016); Jones et al. (2022); Korsager y Slotta, (2015); Morote (2023); Morote y Olcina (2021); Mostacedo-Marasovic et al. (2024); Mulero et al. (2022); Nafisah et al. (2022); Navarro et al. (2020); Roychoudhury et al. (2017); Sánchez Almodóvar et al. (2023); Sanchis Gual et al. (2018); Schauss y Sprenger (2019); Schrot et al. (2021); Schröder et al. (2020); Stevenson et al. (2017); Xie et al. (2014)	72.3
Contexto	Açikalın et al. (2024); Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Alp y Coskun Onan (2023); De Melo et al. (2024); Garbarino (2023); González Gaudiano et al. (2020); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Jones et al. (2022); Morote y Olcina (2021); Moser et al. (2021); Muller y Wood (2021); Roychoudhury et al. (2017); Schrot et al. (2021); Siegner (2018); Stevenson et al. (2017); Xie et al. (2014)	34
Co-enseñanza y debate entre pares	Cruz y Páramo (2020); Korsager y Slotta (2015); Schauss y Sprenger (2019); Schrot et al. (2021); Siegner (2018); Xie et al. (2014)	12.8
Argumentación	Falaye y Okwilagwe (2016); Garbarino (2023); García-Vinuesa et al. (2022); Korsager y Slotta (2015); Roychoudhury et al. (2017); Schauss y Sprenger (2019); Siegner (2018); Stevenson et al. (2017); Velilla Gil et al. (2021)	19.2
Indagación	Cartwright et al. (2021); García-Vinuesa et al. (2022); Gebeyehu et al. (2024); Korsager y Slotta (2015); Schrot et al. (2021); Stevenson et al. (2017); Xie et al. (2014)	14.9

Estrategias y recursos educativos	Autores	Frecuencia (%)
Pensamiento crítico	Cartwright et al. (2021); Cook (2022); Cruz y Páramo (2020); Garbarino (2023); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Heras (2016); Mulero et al. (2022)	14.9
Pensamiento sistémico	González Gaudiano et al. (2020); Roychoudhury et al. (2017); Schröder et al. (2020)	6.4
TIC	Alp y Coskun Onan (2023); Calixto Flores (2015); Gebeyehu et al. (2024); Moser et al. (2021); Roychoudhury et al. (2017); Sónora Luna y García-Vinuesa (2020); Velilla Gil et al. (2021); Xie et al. (2014)	17,02
Detección remota	Xie et al. (2014)	6.4
Simuladores	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020); Cartwright et al. (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); García-Vinuesa et al. (2022); Gebeyehu et al. (2024); Mostacedo-Marasovic et al. (2024); Mulero et al. (2022); Roychoudhury et al. (2017)	19.2
Uso de cómics, imágenes y gráficos	Alp y Coskun Onan (2023); Bello Benavides et al. (2021); Calixto Flores (2015, 2022); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020); Cartwright et al. (2021); Covitt et al. (2021); Falaye y Okwilagwe (2016); González Gaudiano et al. (2020); Mulero et al. (2022); Muller y Wood (2021); Nafisah et al. (2022); Navarro et al. (2020); Roychoudhury et al. (2017); Velilla Gil et al. (2021)	36.17
Proyectos	Calixto Flores (2015); Cartwright et al. (2021); Cruz y Páramo (2020); Garbarino (2023); García-Vinuesa et al. (2022); Gebeyehu et al. (2024); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Heras (2016); Korsager y Slotta (2015); Mulero et al. (2022); Muller y Wood (2021); Nafisah et al. (2022); Roychoudhury et al. (2017); Schauss y Sprenger (2019); Siegner (2018); Sónora Luna y García-Vinuesa (2020); Stevenson et al. (2017); Velilla Gil et al. (2021); Xie et al. (2014)	42.55
Problemas	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020, 2022); Heras (2016); Morote y Olcina (2021); Mostacedo-Marasovic et al. (2024); Roychoudhury et al. (2017); Sónora Luna y García-Vinuesa (2020); Velilla Gil et al. (2021)	19.2
Experiencias	Gebeyehu et al. (2024); Muller y Wood (2021); Siegner (2018)	6.4
Modelos	Carrascosa-Alis Alis et al. (2020); García-Vinuesa et al. (2022); Mostacedo-Marasovic et al. (2024)	6.4
Evidencia	Mostacedo-Marasovic et al. (2024)	2.1
Trabajo colaborativo	Falaye y Okwilagwe (2016); Gebeyehu et al. (2024); Muller y Wood (2021); Nafisah et al. (2022); Schrot et al. (2021); Velilla Gil et al. (2021)	12.8
Investigación	Açikalin et al. (2024); Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Calixto Flores (2015); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020, 2022); Covitt et al. (2021); De Melo et al. (2024); Gavilanes y Tipán (2021); Heras (2016); Jones et al. (2022); Morote y Olcina (2021); Moser et al. (2021); Mostacedo-Marasovic et al. (2024); Mulero et al. (2022); Nafisah et al. (2022); Roychoudhury et al. (2017); Velilla Gil et al. (2021)	40.43

Estrategias y recursos educativos	Autores	Frecuencia (%)
Análisis de noticias y casos	Calixto Flores (2015); Cartwright et al. (2021); Cruz y Páramo (2020); Falaye y Okwilagwe (2016); Garbarino (2023); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Moser et al. (2021); Muller y Wood (2021); Sónora Luna y García-Vinuesa (2020)	21.28
Toma de datos climáticos	Falaye y Okwilagwe (2016); Morote y Olcina (2021a); Morote y Olcina (2021b); Mostacedo-Marasovic et al. (2024); Muller y Wood (2021); Roychoudhury et al. (2017); Xie et al. (2014)	14.9
Experimentos	Boronat-Gil et al. (2018); Carrascosa-Alis Alis et al. (2020); Cartwright et al. (2021); Covitt et al. (2021); Gebeyehu et al. (2024); Jones et al. (2022)	14.9
Organizadores de información	Bello Benavides et al. (2021); Calixto Flores (2015); Morote y Olcina (2021a); Sanchis Gual et al. (2018); Schrüfer et al. (2020)	10.64
Salidas de campo	Jones et al. (2022); Morote y Olcina (2021); Nafisah et al. (2022)	6.4
Juegos	Cook (2022); García-Vinuesa et al. (2022); Velilla Gil et al. (2021)	6.4
Debates	Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023); Bello Benavides et al. (2017, 2021); Calixto Flores (2015, 2022); Cartwright et al. (2021); Garbarino (2023); González Gaudiano y Meira Cartea (2020); Heras (2016); Mulero et al. (2022); Nafisah et al. (2022); Navarro et al. (2020); Stevenson et al. (2017)	27.66

Por otro lado, diversas estrategias y recursos educativos se centran en un aprendizaje activo (Bonwell & Eison y James, 1991) y participativo de los estudiantes, con elaboración de proyectos, análisis de situaciones problema, investigación, generación de experiencias, modelos, experimentación, debates, juegos, y fomento del trabajo colaborativo, se tiene en cuenta la situación del contexto, análisis de noticias y casos. Además, buscan desarrollar habilidades comunicativas como argumentación, indagación, el pensamiento crítico y sistémico. Entre los recursos educativos que se destacan están el uso de las TIC, sensores, simuladores, uso de imágenes y gráficos, toma de datos meteorológicos y organizadores de información. En algunos casos se menciona la co-enseñanza o el intercambio de información, como un método de aprendizaje en el que investigadores expertos contribuyan en la explicación de contenidos asociados al fenómeno, esto debido a que el cambio climático es considerado un concepto interdisciplinario (Figura 11) (You et al., 2021) .

Aunque estas estrategias y recursos usados pueden acoplarse a varios modelos de aprendizaje, se evidencia un acercamiento hacia el constructivismo desligándose del modelo tradicional.

Figura 11.*Estrategias pedagógicas y didácticas en la ECC*

Fuente: Elaboración propia. (Programa Napkin.ai)

4.1.2 Aprendizaje Significativo Crítico en la enseñanza de las ciencias

Los criterios de inclusión y exclusión para la revisión sistemática de literatura correspondiente al ASC en la enseñanza de las ciencias, se describen en la tabla 14.

Tabla 14.*Criterios de inclusión y exclusión para revisión sistemática de literatura de ASC*

Criterios	Inclusión	Exclusión
Idioma	Inglés, español y portugués	Otras lenguas
Año de publicación	Últimos 12 años (2013 – 2024)	Antes de 2013 y posteriores al 2024
Tipología	Artículos de investigación, tesis doctoral, trabajos de maestría	Trabajos de pregrado, capítulos de libros, trabajos de congresos
Población	Estudiantes de secundaria, primaria, maestros de formación y universitarios	-
Contenido	Investigaciones implementadas en el aula. Propuestas de investigación	reflexiones, experiencias, análisis de libros de texto, revisiones de literatura

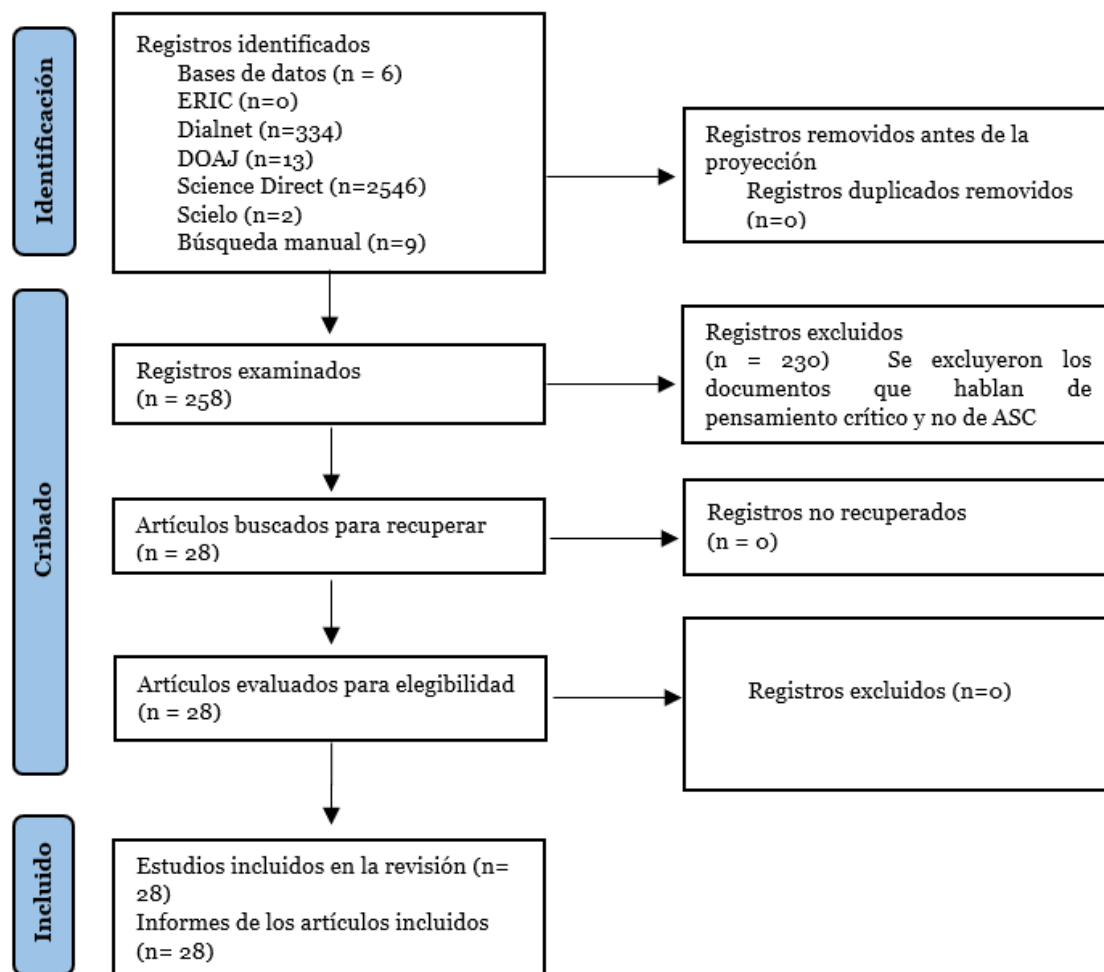
La búsqueda primaria arrojó 2904 documentos (Tabla 15), una vez se aplicaron los primeros filtros, se recuperaron 258 documentos que inicialmente cumplieron con los criterios establecidos para esta investigación.

Tabla 15.

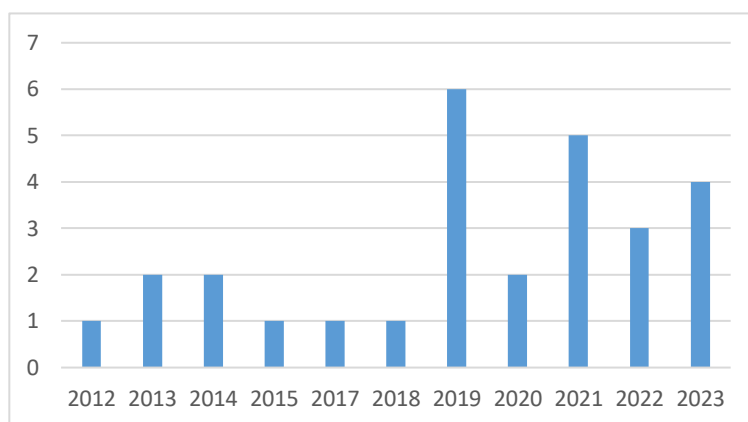
Documentos de ASC en la búsqueda primaria de las bases de datos

Base de datos	Descriptores	Total de artículos	Artículos después de aplicar filtros
ERIC	Critical meaningful learning	0	0
Dialnet	Aprendizaje significativo crítico	334	334
DOAJ	Critical meaningful learning	13	13
Science Direct	Critical meaningful learning	2546	0
Scielo	Critical meaningful learning	2	2
Búsqueda manual			
Universidad Federal de Rio de Janeiro		4	4
Universidad de Burgos		1	1
Universidad de Brasilia		1	1
Universidad Federal de Mato Grosso		1	1
Universidad de Antioquia		2	2

Se leyeron en su totalidad 258 documentos, de los cuales se descartaron 230. El criterio más frecuente para retirar los documentos de la selección radicó en la tendencia de confundir el ASC con el pensamiento crítico, cuya diferencia radica en que el primero es una teoría de aprendizaje, que además de tener en cuenta el conocimiento previo, busca conciencia social y acción transformadora (Moreira, 2005) y, el segundo es una habilidad cognitiva que se puede usar como herramienta en las diferentes teorías de aprendizaje. Finalmente, se seleccionaron 28 documentos que contribuyeron a la investigación. En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo para la selección de artículos.

Figura 12.*Diagrama de flujo para la selección de artículos. Adaptado de PRISMA 2020*

Los estudios de ASC en la enseñanza de las ciencias han incrementado en los últimos años (Figura 13), principalmente en países como Brasil y Colombia (Tabla 16).

Figura 13.*Revisión de literatura de ASC en los últimos 11 años***Tabla 16.***Países y publicaciones de ASC*

País	No de publicaciones
Brasil	14
Colombia	10
España	3
México	1

La TASC en la enseñanza de las ciencias ha sido implementada para la construcción de conocimientos y comprensión de fenómenos asociados a diversas disciplinas científicas. En la tabla 17 se relacionan las variables analizadas en la revisión de literatura:

- Conceptos y disciplinas científicas estudiadas con ASC
- Principios de ASC
- Estrategias y recursos de enseñanza

Tabla 17.*Principales hallazgos de la revisión de literatura de ASC*

Autor (es)	Conceptos	Principios de ASC	Estrategias de Enseñanza	Disciplina científica
Nóbrega da Silva et al. (2023)	Residuos sólidos: Tipos de residuos tiempo de degradación procesos, propósito, impactos.	Conocimiento previo	MC dibujos y relatos cortos hechos por ellos	Ambientales
Restrepo (2017)	Genoma humano	Diversidad de estrategias, cuestionamiento, perceptor-representación, conocimiento como lenguaje, incertidumbre	Situaciones problema, secuencias didácticas, argumento.	Biología
Medina Talero y Urazán Benítez (2015)	Célula, ecosistema y ADN	Conocimiento previo para el diseño de la diversidad de materiales	Blog educativo, contexto, elaboración de los materiales educativos potencialmente significativos, edublog.	Biología
Galeano, (2023)	Interacciones ecológicas	Conocimiento previo, interacción social, diversidad de materiales, percepción-representación.	Cuestionario. Lectura, libro electrónico y presentación. Mapa mental.	Biología
Infante-Malachias & Borges dos Santos, (2013)	Síntesis de proteínas	Todos	Modelo didáctico analógico.	Biología
Obando Melo y López Ríos, (2021)	Fotosíntesis	Conocimientos previos. No utilización de la pizarra	Laboratorio vivo y virtual. Experimental	Biología
Galeano, (2022)	Genética: leyes de Mendel	Diversidad de recursos interacción social	Videojuegos en la plataforma erudito. Aprendizaje activo, trabajo colaborativo	Biología
Medina Talero y Urazán Benítez (2015)	Cromosomas, células sexuales, mitosis y meiosis. Genética mendeliana	Conocimiento previo diseño de diversidad de estrategias	Diversidad de estrategias. Aprendizaje activo	Biología

López Ríos et al. (2012)	Mecánica Newtoniana	Todos	Propuesta didáctica, modelación computacional, diagrama AVM, V de Gowin	Física
Lamar y Bolívar (2019)	Primera ley de la termodinámica (huella de carbono, calentamiento global)	Conocimiento previo.	Basado en proyectos laboratorios virtuales, experimentales, integración de áreas.	Física
Batista y Caldas (2023)	Electromagnetismo	Conocimiento previo, interacción social y cuestionamiento, diversidad de estrategias.	tic, experimentos y otros recursos, participación activa simulaciones computacionales en la enseñanza. Rotación por estaciones	Física
Betancur Ramírez et al. (2019)	Color	Interacción social y cuestionamiento, conocimiento previo, del desaprendizaje y no utilización de la pizarra	Aprendizaje colaborativo Sistema de Adquisición de Datos SAD. Videos, juego, carrusel	Física
Betetti Ferreira et al. (2014)	Radiactividad y relatividad	Diversidad de estrategias materiales potencialmente significativos	Producción y evaluación de UEPS	Física
Dos Santos Correia et al. (2022)	óptica: reflexión, refracción, propagación de la luz	Conocimiento previo. Interacción social	cuestionario inicial y final. Experimentos, videos. Diversidad de estrategias, discusión, lecturas,	Física
Hammel et al. (2019)	electromagnetismo: ondas radiaciones	Conocimientos previos	UEPS. Información imágenes, exposición MC	Física
López Arias (2019)	Movimientos oscilatorios: movimiento pendular y sistema masa resorte	Conocimiento como lenguaje, interacción y cuestionamiento y desaprendizaje aprendizaje por error, diversidad de estrategias	Aplicaciones móviles UEPS	Física
Marin (2020)	Difracción de la luz	Conocimiento como lenguaje, interacción social y del cuestionamiento conciencia semántica, diversidad de estrategias	Propuesta didáctica, modelación computacional.	Física

Giraldo (2019)	Electricidad y magnetismo	Interacción social y del cuestionamiento, perceptor/representador, conocimiento como lenguaje, aprendizaje por error, no utilización de la pizarra, de la diversidad de estrategias y abandono de la narrativa	Aprendizaje basado en proyectos unidades didácticas, interdisciplinarias, laboratorios, lecturas problematizadoras, videos, software app inventor y Gdevelop, argumentación, socialización, lluvia de ideas. Cuestionario final	Física
Cándido et al. (2023)	Calor y temperatura	Conocimiento previo	Mapas conceptuales. cuestionario	Física
Cándido et al. (2020)	Calor, cambios de estado	Interacción social y cuestionamiento	Indagación para construcción de conocimientos. Basada en la experimentación y estudios científicos. Relaciona los proyectos de investigación. Unidades de análisis, integraron contenidos científicos, con aspectos de la vida cotidiana y relación al currículo de ciencias.	Física
Silva et al. (2023)	Calor	Conocimientos previos. Diversidad de estrategias	UEPS diversidad de recursos, experimentales, simuladores, juegos, investigaciones, imágenes, historias, participación activa. Arduino Adquisición de datos automatizada	Física
López Ríos et al. (2014)	Dinámica Newtoniana	Interacción social y de cuestionamiento	Diagrama de V de Gowin. Elaboración de preguntas de los estudiantes a partir de variedad de estrategias: lecturas y discusión de artículos, situaciones problema, modelación computacional	Física

Gulis et al. (2021)	Fotosíntesis	Conocimiento previo	Mapa conceptual de Novak. Secuencia didáctica, lectura, dialogo y cuestionarios para construir y refutar el MC	Interdisciplinar: química, biología, física Biología
Da Cruz et al. (2021)	Cadenas de carbono, hidrocarburos, funciones orgánicas oxigenadas y nitrogenadas. Compuestos orgánicos y biomoléculas	Conocimiento previo, perceptor-representador del mundo	Diversidad de estrategias, experimentales	Interdisciplinar: química, física, biología
Martínez Salcedo (2019)	Energía	Conocimientos previos, percepción-representación, interacción social y cuestionamiento, conocimiento como lenguaje, abandono de la narrativa y no centralización del libro de texto	Diversidad de estrategias, experimentales, maquetación, encuestas, juego de roles, socialización, lecturas, carreras de observación, entrevistas, presentaciones	Interdisciplinaria la física, la química y la biología
Chirone et al. (2021b)	Números enteros, racionales, naturales	Todos	UEPS situaciones problema. Aprendizaje activo	Matemáticas
Ferreira Matos et al. (2018)	Manejo de residuos: Basura	Conocimiento previo interacción social y cuestionamiento, diversidad de materiales	Modelación matemática, proyecto de investigación	matemáticas y socio-ambiental
Chirone et al. (2021a)	Ecuaciones de segundo grado	Todos (11), agregan 2 más superación de dificultades y de retroalimentación	Lecturas “Knowledge Trail” y una tableta gráfica con la aplicación Autodesk Sketchbook. Resolución de problemas. Mapas conceptuales. Aprendizaje activo	Matemáticas y Tics

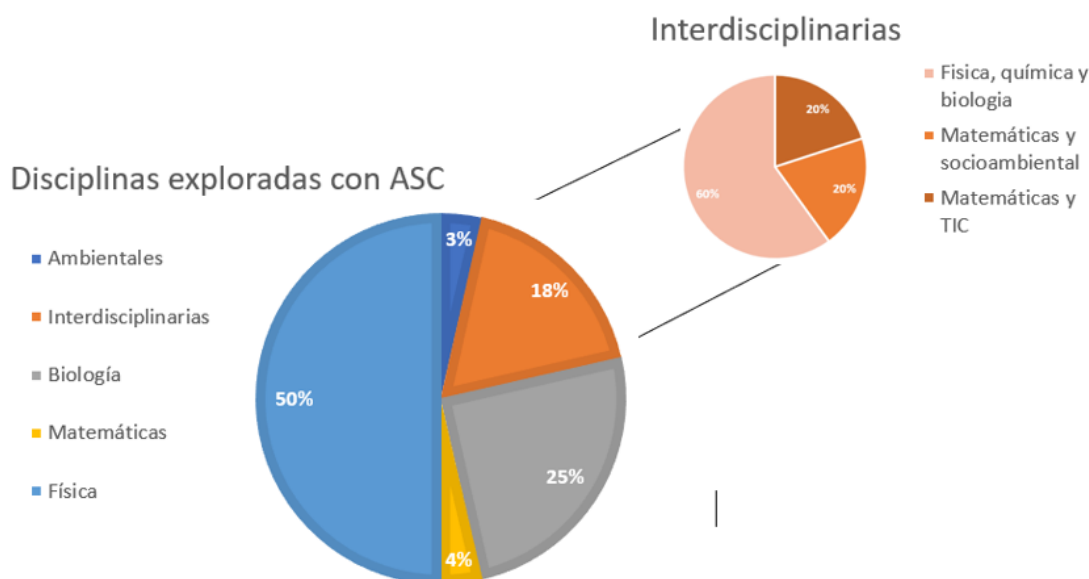
A continuación, se detallan los hallazgos de cada subcategoría.

4.1.2.1 Conceptos y disciplinas científicas estudiadas con ASC

En la mayoría de los estudios se registró la construcción de conceptos asociados a una disciplina específica, principalmente la física (50%) y la biología (25%). No obstante, también se identificaron algunos casos en los que los conceptos se abordaron desde una perspectiva interdisciplinaria (18%), integrando saberes de las ciencias (química, física y biología), las matemáticas, el ambiente y la tecnología (Figura 14). Estos hallazgos evidencian el potencial de la teoría del ASC para el estudio del cambio climático, considerado un fenómeno interdisciplinario que involucra campos como la biología, la física, la química, la ecología y la geografía (You et al., 2021).

Figura 14.

Disciplinas científicas exploradas con ASC



Fuente: Elaboración propia. (Programa Excel)

Hasta el momento, no se registran estudios concretos de construcción de conceptos con ASC relativos al cambio climático; sin embargo, algunas investigaciones, tienen alguna relación con el fenómeno, como el de Lamar y Bolívar (2019), que se enfocaron en la primera ley de la termodinámica, con el calentamiento global y huella de carbono; Cándido et al. (2020; 2023) construyeron conceptos asociados a la influencia del calor y la temperatura en

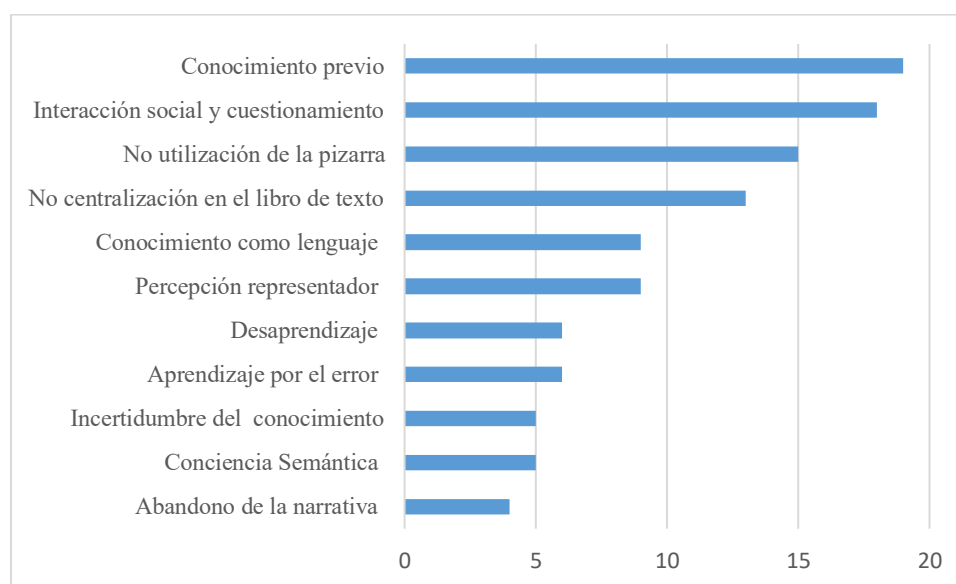
los cambios de estado de la materia relacionados con los fenómenos de evaporación y condensación del agua; Gulis (2021) y Obando Melo y López Ríos (2021) presentan un estudio para el concepto fotosíntesis; Nóbrega da Silva et al. (2023) y Ferreira Matos et al. (2018) hacen una apuesta a estudios de corte ambiental con el concepto de residuo sólido y volumen de basura para la reducción de residuos y, Martínez Salcedo (2019) lo implementa con el concepto de energía.

En los casos en los que la propuesta fue implementada, se evidenció la construcción de conceptos científicos que facilitaron un acercamiento más sólido a la comprensión del fenómeno. Además, los estudiantes mejoraron sus habilidades orales y escritas y se mostraron dispuestos a emitir juicios de valor frente a la situación planteada.

4.1.2.2 Principios facilitadores de ASC. La revisión de literatura permitió detectar que en la construcción de conocimientos se usan uno o más principios en el aula de clase. En la figura 15 se muestran los principios usados con mayor frecuencia, siendo el conocimiento previo, el más implementado en el aula, como principio precursor de la construcción de nuevos conocimientos. Esto es coherente con el rol que ejerce el conocimiento previo en el Aprendizaje Significativo y Crítico (Rodríguez et al., 2011).

Figura 15.

Principios facilitadores de ASC utilizados en el aula de clase



El principio del *conocimiento previo* es el más utilizado en el aula, siendo fundamental como facilitador de ASC. Indagar los conocimientos previos de los estudiantes permite anclar los nuevos conocimientos a la estructura preexistente facilitando la comprensión, retención y transferencia del mismo (Moreira, 2005). Identificar los conocimientos previos permite al docente realizar una mejor planificación tanto del contenido conceptual como de las herramientas pedagógicas y didácticas a implementar.

Los otros principios implementados con mayor frecuencia en el aula se enmarcan en *los principios conceptuales y disciplinares* (López Ríos, 2014), dentro de los cuales se destacan la interacción social y el cuestionamiento, el conocimiento como lenguaje y la percepción-representación. Asimismo, se incluyen *los principios pedagógicos y didácticos*, que comprenden la diversidad de estrategias y la no centralización en los libros de texto (Figura 16).

A continuación, se definen y se describen las formas en que estos principios pueden aplicarse en el aula.

El principio de *la interacción social y cuestionamiento* fue el segundo más implementado en la construcción de conocimientos y se enfoca en la negociación de significados a partir de la elaboración de preguntas realizadas por los estudiantes que resulten de su propia curiosidad y del intercambio de ideas y aclaraciones para construir un significado (Moreira, 2005).

Con respecto a la capacidad de elaboración de preguntas la mayoría de estudios usaron la propuesta de López Ríos et al. (2014), que clasifica la elaboración de las preguntas en alta, media y baja, de acuerdo con unos parámetros establecidos. Giraldo (2019) menciona como complemento a la clasificación anterior, la propuesta de Sanjosé y Torres (2014) con la caracterización entre los tipos de pregunta y las habilidades para redactarla: asociativa explicativa y predictiva.

Varios autores consideran que la habilidad para elaborar preguntas, ya sea por desconocimiento del tema o por un conocimiento previo que genera una curiosidad, se relaciona con la capacidad para tratar de solucionar problemas de comprensión de textos, de conceptos, de fenómenos lo que influye positivamente en el aprendizaje (Sanjosé & Torres,

2014). Estudios relacionados a este principio demuestran que el dominio conceptual de un tema, mejoró significativamente al incrementar la habilidad para elaborar sus preguntas, los estudiantes mejoraron la capacidad para formular preguntas cada vez más relevantes, apropiadas y sustantivas, de manera sistemática sobre los fenómenos físicos abordados. No obstante, en los estudios revisados se menciona que, si bien la interacción social y el cuestionamiento mostraron indicios de un ASC, para la formulación de preguntas se requiere un proceso a largo plazo, cuyos resultados exitosos se van notando progresivamente (Giraldo, 2019).

Otro de los principios abordados con frecuencia en el aula fue el del *conocimiento como lenguaje*. Para Moreira, este principio revela las diversas formas en que las personas intentan percibir la realidad mediante signos y símbolos, ya sean orales o escritos (Moreira, 2005). Su evaluación en los estudios analizados adoptó diferentes enfoques.

Marín (2019), por ejemplo, identificó la evolución del lenguaje desde los conocimientos previos hasta la construcción conceptual, analizando las evidencias producidas por los estudiantes, como el uso adecuado de símbolos, el establecimiento de relaciones entre variables y la formulación de explicaciones sobre el fenómeno, y clasificándolas como pertinentes, aceptables o deficientes.

Giraldo (2019) y Restrepo (2017) emplearon las categorías de argumentación del modelo de Toulmin (MAT) propuestas por Erduran et al. (2004), que consideran elementos como la afirmación, los datos o evidencias que la sustentan, la justificación que la fortalece, el respaldo teórico y la inclusión de refutaciones o contraargumentos.

Adicionalmente, Giraldo (2019) complementó este análisis mediante los niveles de argumentación de Osborne et al. (2004), que describen progresiones desde una afirmación simple (nivel 1), pasando por afirmaciones acompañadas de justificaciones (nivel 2), hasta niveles más complejos que integran contraargumentos (nivel 3), múltiples justificaciones con rebatimientos (nivel 4) o estructuras argumentativas altamente elaboradas (nivel 5).

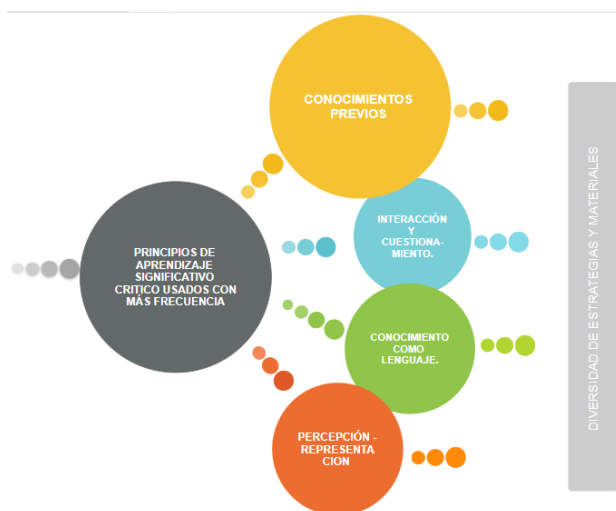
Por su parte, Lima et al. (2016) y Restrepo (2017) emplearon la clasificación de Leitão, (2012) y Leitão y Damianovic, (2011), quien distingue entre tres formas de estructurar la argumentación: la integración, la subordinación y la refutación. Según esta

autora, toda argumentación se organiza a partir de una tesis o afirmación inicial, seguida de un argumento que la desarrolla y un contraargumento que la tensiona.

En todos los casos, se reportaron avances significativos tanto en el proceso de argumentación como en la construcción conceptual.

Finalmente, el principio de *percepción-representación* plantea que los estudiantes comprenden las representaciones y son capaces de interpretar diferentes lenguajes (Chirone, 2021). Según Giraldo (2019), este principio se refiere a las oportunidades que tiene el estudiante para representar lo que percibe en su contexto y explicitar sus percepciones previas. En este sentido, el perceptor decide cómo representar mentalmente un objeto o estado del mundo, tomando esa decisión a partir de su experiencia previa; es decir, de percepciones pasadas que le sugieren qué tipo de representación será más funcional para él.

En el grupo de principios *pedagógicos y didácticos* (López Ríos, 2014), los principios más frecuentes fueron la no centralización en el libro de texto y no utilización de la pizarra. El uso de diversidad de estrategias permitió la construcción del conocimiento, usando las distintas alternativas y fuentes de información, que favorecieron y motivaron una participación más activa. Esto es acorde con la fundamentación teórica del ASC, que busca que la enseñanza esté centrada en el estudiante y su aprendizaje sea activo. En la siguiente sección se detallan los materiales educativos utilizados en los estudios de ASC registrados en la revisión de literatura.

Figura 16.*Principios de ASC utilizados con mayor frecuencia en el aula*

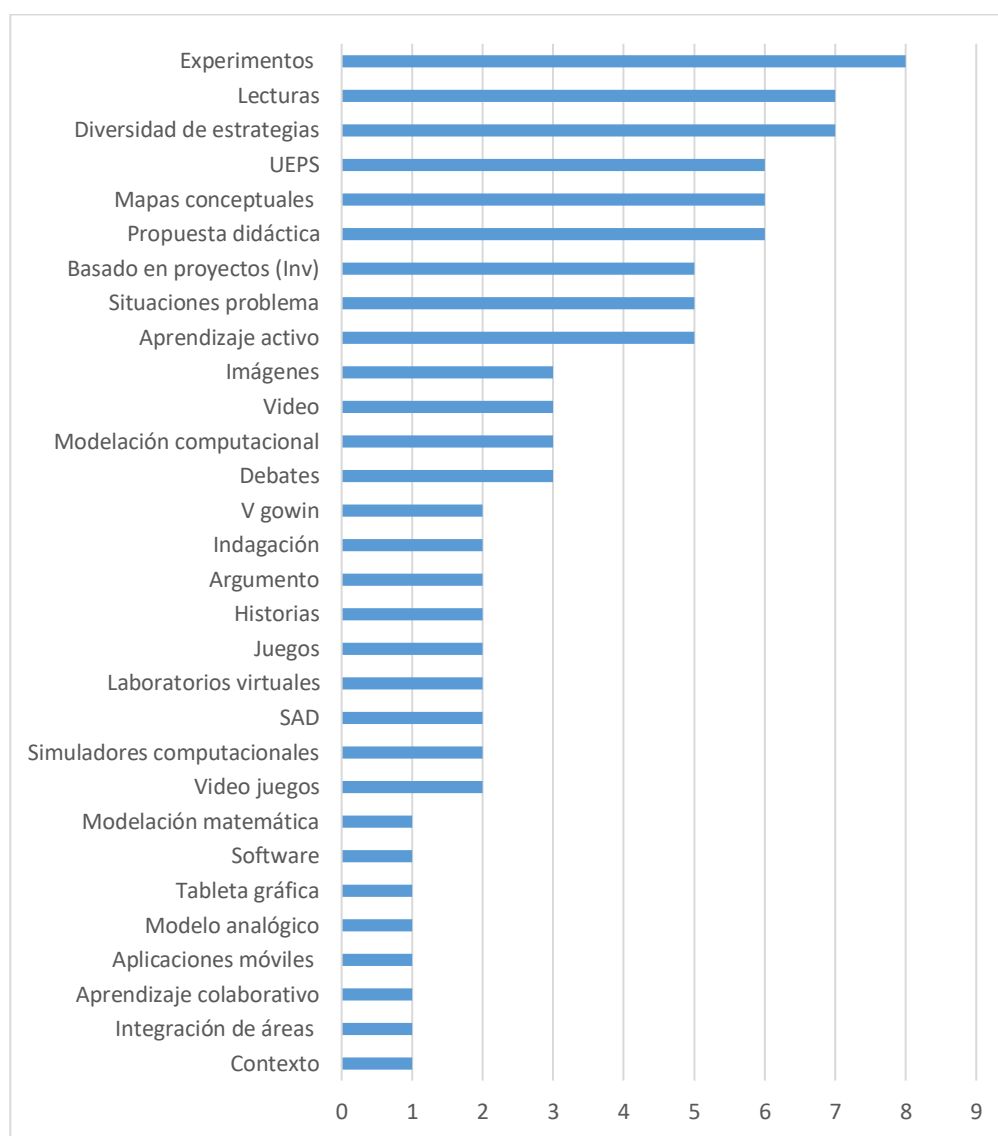
Fuente: Elaboración propia. (Programa Napkin.ai)

4.1.2.3 Diversidad de estrategias y materiales utilizados en ASC. La diversidad de estrategias y materiales estuvieron enfocados en propiciar una participación activa de los estudiantes. En los estudios analizados se mencionan tanto estrategias como recursos usados para la construcción de conocimientos (Figura 17). Se registran recursos educativos para laboratorios como experimentos y simuladores; el uso de herramientas tecnológicas y audiovisuales, actividades lúdicas y debates; lecturas problematizadoras, organizadores previos como mapas conceptuales y V de Gowin; estrategias educativas como aprendizaje basado en proyectos, argumentación, indagación, trabajo colaborativo, análisis de situaciones problema. Además, se resalta el uso de las unidades didácticas y de Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS).

Las UEPS son secuencias didácticas estructuradas que integran diversas estrategias y recursos orientados a facilitar el aprendizaje, las cuales se diseñan teniendo en cuenta las condiciones para el Aprendizaje Significativo (AS) propuestas por David Ausubel. En este enfoque, la predisposición y la intencionalidad para aprender, así como el uso de materiales potencialmente significativos, constituyen elementos fundamentales. Dentro de las UEPS se organiza una diversidad de estrategias basadas en situaciones problema de distinta complejidad, se favorece la negociación de significados y se incorporan los principios programáticos de diferenciación progresiva, reconciliación integradora y consolidación.

Todo ello se acompaña del uso de materiales que promuevan el aprendizaje y la construcción posterior de significados por parte de los estudiantes (Moreira, 2011).

Con el uso de las UEPS se evidenció la comprensión de los conceptos y la construcción de representaciones mentales más elaboradas. Los estudiantes lograron identificar y corregir errores en sus ideas previas y emplearon la verbalización escrita para demostrar los conocimientos adquiridos, así como la oralidad para fortalecer habilidades de pensamiento crítico sobre los fenómenos estudiados. Además, establecieron relaciones entre causas y consecuencias e identificaron diversos factores implicados en situaciones de la vida cotidiana (Chirone et al., 2021).

Figura 17.*Diversidad de estrategias y materiales usados en el ASC (%)*

La variedad de estrategias y recursos utilizados se centra en promover el aprendizaje activo y la participación de los estudiantes. En consecuencia, ellos desarrollan proyectos, investigaciones, debates y análisis de noticias, así como la resolución de problemas vinculados a su propio contexto. También se enfatiza el trabajo colaborativo y el uso de recursos experimentales, exploratorios, tecnológicos y audiovisuales. Estas estrategias suelen organizarse en UEPS o unidades didácticas, lo que permite estructurarlas de manera coherente para su implementación en el aula (Figura 18).

Figura 18.

Aprendizaje activo y participativo: base para implementación de diversidad de estrategias en ASC



Fuente: Elaboración propia. (Programa Napkin.ai)

4.2 Fase 2 IBD: Diseño de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica.

En esta fase se diseña una UEPS que articula los conceptos y herramientas identificadas en la Revisión Sistemática de Literatura (RSL) sobre ECC con los principios del ASC más frecuentemente empleados. La propuesta se centra en un aprendizaje activo y participativo, en el que los estudiantes construyen conocimiento mediante la observación, exploración, la reflexión y la acción. En coherencia con ello, la UEPS incorpora una diversidad de estrategias y materiales didácticos que favorecen la comprensión integral del fenómeno climático (Figura 19). Esta fase responde al tercer objetivo de la investigación, orientado al diseño de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica y reflexiva.

Figura 19.

Diagrama de la articulación entre ECC y ASC en el diseño de la UEPS



Fuente: Elaboración propia. (Programa Chat GPT)

En el diseño de la UEPS sobre ECC se realizó el siguiente proceso:

- Articulación de los contenidos de la ECC encontrados en la RSL con los referentes curriculares nacionales: Estándares de Competencias básicas y Derechos Básicos de Aprendizaje (MEN, 2004; MEN & Universidad de Antioquia, 2016).
- Enlace de los contenidos seleccionados del CC a los requisitos de la UEPS.
- Articulación de los requisitos de la UEPS a los principios del ASC.

4.2.1 Articulación de los contenidos de CC con estándares de competencias y DBA para grado séptimo.

Se realizó un primer prototipo de la UEPS. En primera instancia, se relacionaron los contenidos asociados al fenómeno identificados en la Revisión Sistemática de Literatura (RSL), con los referentes curriculares: los Estándares de Competencias Básicas y los Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales (Tabla 18). Los contenidos seleccionados se vincularon con los estándares y competencias correspondientes al grado séptimo, debido a la afinidad con conceptos que tienen alguna relación con el clima.

La selección de los contenidos derivados de la RSL y su incorporación al plan de clase se organizaron en dos ejes: una sección orientada a la alfabetización climática y otra

centrada en la toma de decisiones y acciones para la mitigación del cambio climático. Es importante mencionar que algunos DBA se repiten en la columna de la tabla 18, debido a que pueden respaldar tanto los procesos de alfabetización climática como aquellos orientados a la toma de decisiones frente a las acciones antropogénicas que han generado el daño ambiental y las que podrían contribuir a su mitigación.

Tabla 18.

Articulación de Estándares de competencias básicas, Derechos Básicos de Aprendizaje y conceptos conectados con la enseñanza del cambio climático en el grado séptimo.

Estándares (MEN, 2004)	DBA (MEN & Universidad de Antioquia, 2016)	Conceptos conectados con el CC (RSL)	Disciplina científica
Establezco relaciones entre las características macroscópicas y microscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.	Explica cómo las sustancias se forman a partir de la interacción de los elementos y que estos se encuentran agrupados en un sistema periódico.	Gases Efecto Invernadero: CO ₂ , vapor de H ₂ O, N ₂ O, CH ₄ , O ₃	Procesos químicos
	Comprende la relación entre los ciclos del carbono, el nitrógeno y del agua, explicando su importancia en el mantenimiento de los ecosistemas.	Estados de la materia Ciclo del agua: tiempo atmosférico, clima Ciclo del carbono Flujo de energía en los ecosistemas: sistemas de la tierra	Procesos vivos
	Comprende que en las cadenas y redes tróficas existen flujos de materia y energía, y los relaciona con procesos de nutrición, fotosíntesis y respiración celular.	Fotosíntesis, respiración descomposición	
Identifico condiciones de cambio y de equilibrio en los seres vivos y en los ecosistemas.	Explica cómo las sustancias se forman a partir de la interacción de los elementos y que estos se encuentran agrupados en un sistema periódico.	Deforestación Combustibles fósiles Ganadería Consumismo Huella de carbono	Ciencia, Tecnología y sociedad Procesos vivos
	Comprende que en las cadenas y redes tróficas existen flujos de materia y energía, y los relaciona con procesos de nutrición, fotosíntesis y respiración celular.		Procesos químicos
Evalúo el potencial de los recursos naturales, la forma como se han utilizado en desarrollos tecnológicos y las consecuencias de la acción del ser humano sobre ellos.	Comprende la relación entre los ciclos del carbono, el nitrógeno y del agua, explicando su importancia en el mantenimiento de los ecosistemas.	Alteraciones del ciclo del carbono: Calentamiento global Alteraciones en el ciclo del agua: inundaciones, sequías, deslizamientos	Procesos físicos
		Recursos naturales renovables y no renovables. Energías limpias Consumo responsable Transporte	
	Comprende las formas y las transformaciones de energía en un sistema mecánico y la manera como, en los casos reales, la energía se disipa en el medio (calor, sonido).	Sumideros de CO ₂ Conservación de la biodiversidad	

4.2.2 Enlace de los contenidos del Cambio Climático a los requisitos de la UEPS

Los contenidos seleccionados para comprender el cambio climático se enlazaron con los requisitos de la UEPS, de tal manera que su distribución permitiese un Aprendizaje Significativo (Moreira, 2011).

La articulación presentada en la tabla 19 permite evidenciar la coherencia entre los requisitos teóricos de la UEPS, los criterios de distribución de los conceptos y las secciones diseñadas para ser implementadas en el aula. Cada sección responde a la propuesta de aprendizaje significativo, en la medida en que se parte de los conocimientos previos de los estudiantes y se avanza hacia la construcción de nuevos significados a través de la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. Asimismo, el enfoque adoptado favorece la comprensión del fenómeno del cambio climático, haciendo énfasis en el CO₂, como el GEI, más intervenido por los humanos, permitiendo que los estudiantes establecieran relaciones entre los procesos naturales y las acciones antropogénicas. Finalmente, la fase de consolidación y evaluación promueve la aplicación de los saberes adquiridos en contextos reales, mediante la formulación de proyectos de mitigación que fortalecen la alfabetización climática y el compromiso ambiental.

Tabla 19.

Articulación de los requisitos de la UEPS con los criterios de distribución conceptual y la propuesta para implementación en el aula

Requisitos de la UEPS (Moreira, 2011)	Criterios para la distribución de conceptos en la UEPS	Implementación en el aula
Externalizar conocimientos previos	Se selecciona el tema central de la UEPS: Cambio climático y los conceptos relacionados con él.	1. El cambio climático: actitudes y percepciones
Introducción al tema	Para comprender la importancia del cambio climático, se plantea inicialmente la diferencia entre <i>clima</i> y <i>tiempo atmosférico</i> (Roychoudhury et al., 2017). En la profundización de estos temas se introducen conceptos como sistemas de la Tierra, ciclo del agua, altitud y latitud.	2. Diferencia entre clima y tiempo atmosférico

Diferenciación progresiva	Este requisito sugiere abordar el tema de lo general a lo específico. Por ello, se incluyen aspectos relacionados con la formación del clima, <i>el efecto invernadero y los gases de efecto invernadero</i> (García-Vinuesa et al., 2022); en especial aquellos que pueden ser intervenidos antropogénicamente, como el CO ₂ y el vapor de agua. Se hace énfasis en el <i>ciclo del carbono</i> , que se desglosa en conceptos básicos como <i>fotosíntesis, respiración y descomposición</i> (Zangori et al., 2017).	3. ¿Para qué y cómo se calienta la tierra?
Reconciliación integradora	En esta fase se busca que los conceptos se integren desde lo específico hacia lo general. Por esta razón, se seleccionan contenidos relacionados con los factores que incrementan el calor en la Tierra, tales como <i>industrialización, deforestación, manejo de residuos, consumismo, avances tecnológicos y sociales</i> , y la <i>huella de carbono</i> tanto local como global.	4. ¿Por qué incrementa el calor de la tierra?
Consolidación	Este momento retoma todos los conceptos abordados para construir una visión más holística del fenómeno. En consecuencia, se abordan los efectos del incremento del calor en la Tierra y su repercusión en el cambio climático, tales como la <i>elevación del nivel del mar</i> , el <i>calentamiento global</i> , el <i>derretimiento de glaciares</i> , la <i>pérdida de biodiversidad</i> y la <i>migración de especies y poblaciones humanas</i> (Carrascosa-Alis et al., 2020).	5. ¿Cuáles son las consecuencias del incremento del calor en la tierra?
Evaluación de aprendizajes	Los estudiantes diagnostican y proponen proyectos de mitigación del incremento del calor en la Tierra, a partir del análisis de la huella de carbono en sus propios hogares. En esta fase, integran los conceptos trabajados: diferencia entre clima y tiempo atmosférico, causas naturales y antropogénicas, y propuestas de mitigación del cambio climático.	6. ¿Cómo puedo mitigar los efectos del cambio climático?

4.2.3 Articulación de la UEPS a los principios de ASC

Una vez se han seleccionado y organizado los contenidos científicos en la UEPS se articularon los principios del ASC: conocimientos previos, interacción social y cuestionamiento, conocimientos como lenguaje y percepción-representación. Para cada principio se consideraron herramientas pedagógicas y didácticas centradas en la participación activa de los estudiantes, congruentes con la información obtenida de la RSL, tanto del ASC como de la ECC.

A continuación, se describen las herramientas pedagógicas y didácticas consideradas en cada principio del ASC articulados a la UEPS (Tabla 20).

4.2.3.1 Principio del conocimiento previo:

Para el diagnóstico de los conocimientos previos se propuso utilizar dos tipos de estrategias didácticas la interpretación de imágenes y la elaboración de un mapa conceptual. Ambas permiten explorar las concepciones iniciales de los estudiantes sobre el cambio climático, sus causas y consecuencias, así como los significados que atribuyen al fenómeno.

Las imágenes seleccionadas, de acuerdo con la taxonomía de Perales y Jiménez, (2002), fueron temáticas y problematizadoras, y sus criterios de selección respondieron al grado de iconicidad y funcionalidad dentro de la secuencia didáctica. En total, se propusieron doce imágenes alusivas a contenidos relacionados con la alfabetización climática y con las acciones antropogénicas que han incrementado los gases de efecto invernadero (GEI).

En un primer momento, los estudiantes describen sus percepciones frente a cada imagen mediante palabras, frases, descripciones, sentimientos o actitudes que les genere. Esta actividad se realiza de manera individual, con el fin de recoger las interpretaciones personales sin la influencia del grupo.

En un segundo momento, los estudiantes elaboran un mapa conceptual inicial. Para ello, la investigadora hace entrega de un conjunto de 25 conceptos asociados al fenómeno del cambio climático, a equipos conformados por cuatro integrantes. La construcción del mapa se orienta a identificar las relaciones jerárquicas y proposicionales que los estudiantes establecen entre los conceptos.

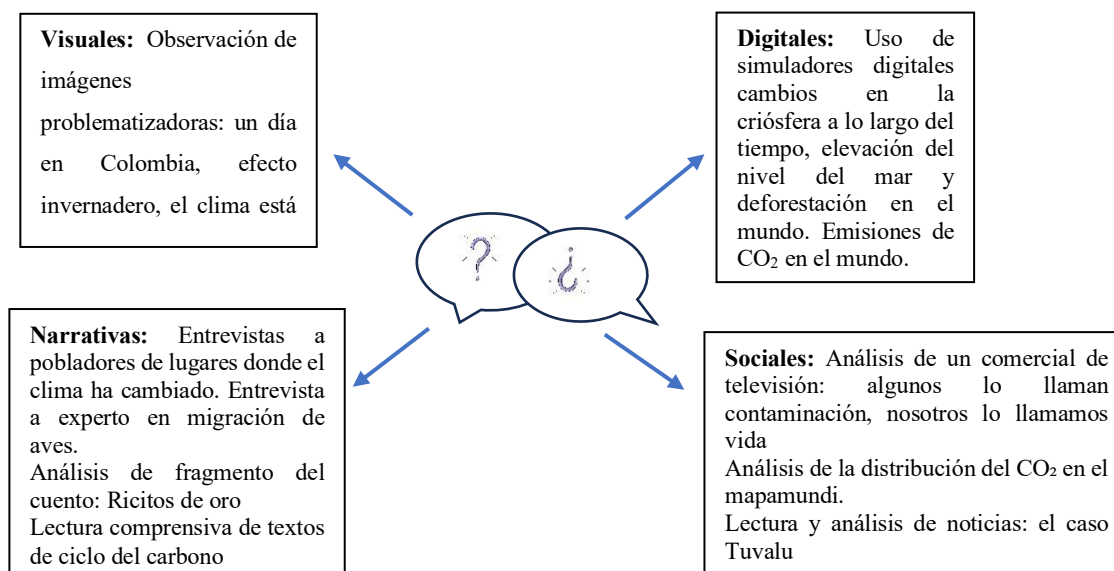
4.2.3.2 Principio de la interacción social y el cuestionamiento

La base para la implementación de este principio fue la formulación de preguntas por parte de los estudiantes, entendida como una estrategia que potencia la reflexión crítica, la curiosidad científica y la negociación de significativos (Moreira, 2005). A través de este principio se pretendía fomentar la exploración, la indagación y la búsqueda de respuestas a partir de las propias inquietudes de los estudiantes frente al fenómeno del cambio climático.

Con el propósito de promover la formulación de preguntas, se seleccionó una diversidad de estrategias didácticas orientadas a estimular la observación, la reflexión y el razonamiento hipotético. Por esta razón, se optó por estrategias visuales, narrativas, digitales y sociales (Figura 20), las cuales favorecen distintos estilos y ritmos de aprendizaje, al tiempo que promueven la participación activa y la motivación.

Figura 20.

Estrategias seleccionadas para el principio de la interacción social y el cuestionamiento



En total se proponen 14 estrategias que se distribuyen a lo largo de la UEPS, con el fin de fortalecer progresivamente la capacidad de los estudiantes para formular preguntas cada vez más complejas y fundamentadas, que les permitan identificar lo que necesitan conocer para comprender las causas, consecuencias y posibles soluciones frente al cambio climático.

4.2.3.3 Conocimiento como lenguaje

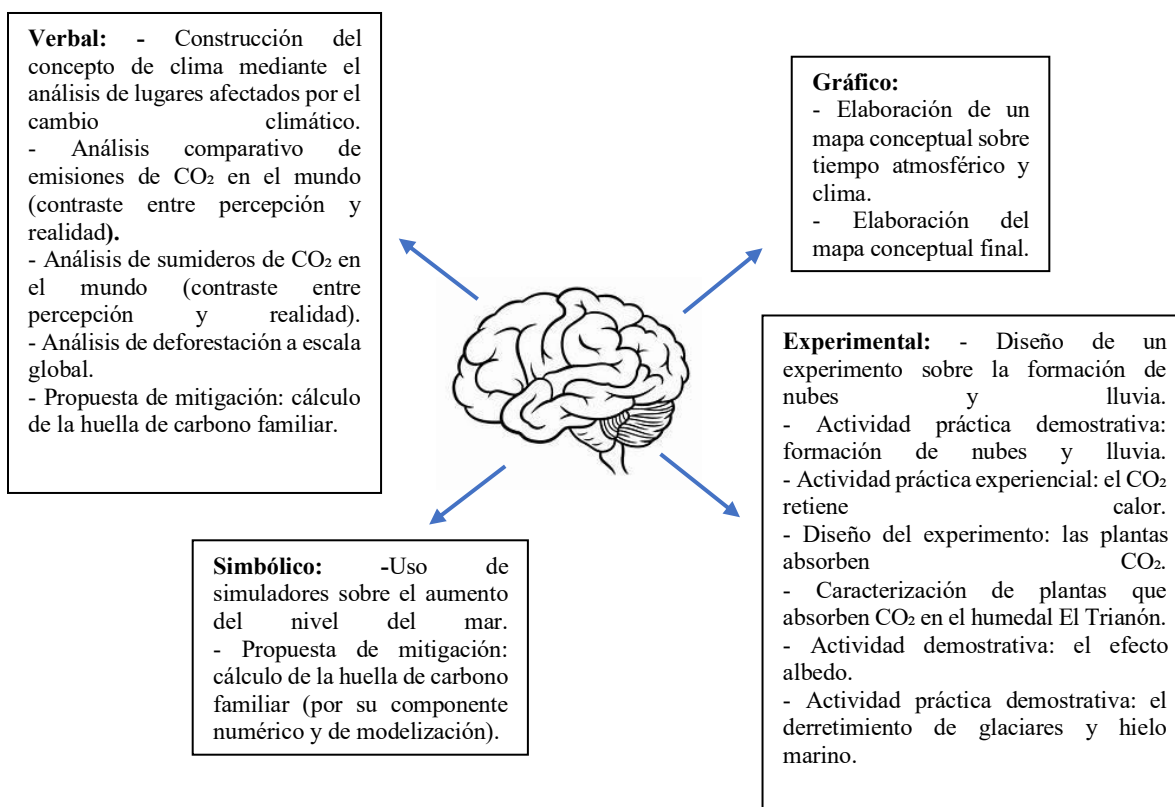
La implementación de este principio busca promover en los estudiantes la comprensión, el análisis y la argumentación mediante el uso del lenguaje propio de las ciencias. Este principio se fundamenta en la idea de que el conocimiento científico se construye y comunica a través del lenguaje, el cual permite representar, organizar y compartir los significados elaborados en torno a los fenómenos (Moreira, 2011).

En este sentido, se seleccionaron actividades que propician la aplicación y reconstrucción del conocimiento adquirido, favoreciendo procesos de reflexión, criticidad y análisis frente a distintas situaciones relacionadas con el cambio climático. Estas actividades promueven que los estudiantes expresen y sustenten sus ideas mediante el uso de conceptos, relaciones y explicaciones propias del discurso científico escolar.

Las actividades propuestas integran diversos tipos de lenguaje: verbal, gráfico, simbólico y experimental (Figura 21), para ampliar las posibilidades de comprensión y expresión científica.

Figura 21.

Estrategias seleccionadas para el principio del conocimiento como lenguaje.



En total, se proponen dieciséis actividades orientadas al principio del conocimiento como lenguaje, las cuales buscan que los estudiantes interpreten, representen y comuniquen científicamente las relaciones entre los fenómenos naturales y las acciones humanas que inciden en el cambio climático.

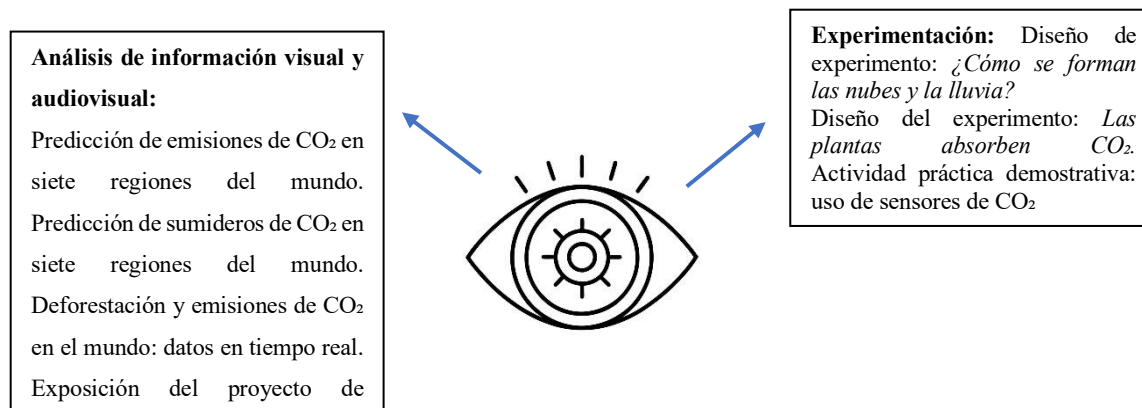
4.2.3.4 Percepción-representación

De acuerdo con Giraldo (2019), en el principio de percepción–representación el estudiante reconoce, selecciona y organiza las percepciones sensoriales del entorno, transformándolas en representaciones mentales que facilitan la construcción de significados. Desde esta perspectiva, Chirone et al. (2021a) destacan la importancia de que los estudiantes sean capaces de interpretar y traducir información expresada en distintos lenguajes como el visual, verbal, simbólico o experimental, ya que ello amplía sus formas de comprensión y expresión.

La implementación de este principio en la UEPS busca que los estudiantes interpreten, representen y comuniquen los fenómenos asociados al cambio climático mediante el uso de diversos lenguajes y medios de representación. Para ello, se proponen estrategias que integran la experimentación y el análisis de información visual y audiovisual (Figura 22), con el propósito de fortalecer la conexión entre la percepción sensorial y la conceptualización científica.

Figura 22.

Estrategias seleccionadas para el principio de percepción-representación



4.2.4 Prototipo de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica

La articulación entre la UEPS y las estrategias fundamentadas en los principios del ASC permitió consolidar una propuesta pedagógica coherente con los propósitos de la ECC. Esta integración garantiza la relación entre teoría y práctica, al situar al estudiante como sujeto activo en la construcción del conocimiento, la reflexión crítica y la acción transformadora frente a los problemas climáticos. De esta manera, cada principio del ASC encuentra correspondencia en los requisitos de la UEPS, favoreciendo una secuencia didáctica progresiva y contextualizada que combina la exploración, la indagación, la representación y la aplicación de saberes. En conjunto, esta articulación posibilita una comprensión significativa y holística del cambio climático, al tiempo que promueve la formación de una conciencia ambiental crítica y comprometida con la sostenibilidad (Tabla 20).

Tabla 20.

Prototipo inicial de una UEPS sobre ECC desde una perspectiva crítica y reflexiva

Fases de la UEPS	Actividad orientadora	Principios de ASC			
		C/P ¹	I/C ²	C/L ³	P/R ⁴
1. Conocimientos previos	- Interpretación de imágenes	X			X
	- Mapa conceptual inicial	X			X
2. Introducción al tema Diferencia entre tiempo atmosférico y clima	- Observación e interpretación de meme: un día en Colombia (Tiempo atmosférico)		X		X
	- práctica experiencial: Tipos de nubes				
	- Diseño de experimento: ¿Cómo se forman las nubes y la lluvia?			X	X
	- Actividad práctica demostrativa: formación de nubes y lluvia			X	
	- Análisis de videos documentales			X	X
	- Entrevista habitantes de la zona		X		
	- Mapas conceptuales de TA y Clima			X	
	- Ricitos de oro y la zona habitable (GEI)		X		X
3. Diferenciación progresiva Elementos del clima: GEI, ciclo del carbono, fotosíntesis y respiración.	- Análisis de imágenes: Ciclo del carbono (causas naturales)		X		
	- Ciclo del carbono: Lectura comprensiva de textos informativos		X		
	- El CO ₂ retiene calor: actividad práctica experiencial			X	
	- Comercial de TV. Algunos lo llaman contaminación: nosotros lo llamamos vida		X		X

Fases de la UEPS	Actividad orientadora	Principios de ASC			
		C/P ¹	I/C ²	C/L ³	P/R ⁴
	- Diseño de experimento: “ <i>las plantas absorben CO₂ de la atmósfera</i> ”			X	X
	- Actividad práctica investigativa: Conozco mi territorio: caracterización de plantas en absorción de CO ₂			X	
4. Reconciliación integradora	- Observación e interpretación de la imagen: el clima está loco		X		X
Deforestación, Industrialización y huella de carbono	- Actividad de predicción, argumentación, contrastación.		X	X	X
	- Emisiones de CO ₂ en el mundo				
	- Sumideros de CO ₂ en el mundo			X	X
	- Deforestación en el mundo		X	X	X
	- Calculo mi huella de carbono familiar: elabora propuesta de acción			X	
5. Consolidación	- observación e interpretación del meme: el puesto de pesca de Anuk		X		X
Consecuencias de las alteraciones en el ciclo del Carbono	- Criósfera se derrite: análisis cambios en el polo norte y en el ártico desde 1990 – 2016		X		
	- actividad práctica demostrativa: El efecto albedo			X	
	- Actividad práctica demostrativa: derretimiento de glaciares vs hielo marino			X	
	- El aumento del nivel del mar: simulador de incremento del nivel del mar		X	X	
	- Artículo periodístico: “ <i>El caso Tuvalu</i> ”		X		
	Migración de aves		X		
	Visita al avistamiento de aves				
6. Evaluación de la UEPS	- entrevista experto				
	- Foro educativo ambiental: “acciones por el clima”			X	X
	- mapa conceptual final			X	X

¹ C/P: conocimientos previos² I/C: interacción social y cuestionamiento³ C/L: conocimiento como lenguaje⁴ P/R: percepción-representación

4.3 Fase 3 IBD: Ciclos iterativos

Esta UEPS estuvo constituida por dos ciclos iterativos, en el primer ciclo, se llevó a cabo la validación de la UEPS por parte de expertos y una prueba piloto. Se realizó la primera reflexión retrospectiva, la cual comprendió el análisis del diseño inicial, con miras a su rediseño, y el análisis de las actividades orientadoras, que en este caso correspondió al diagnóstico de conocimientos previos. Después vino el segundo ciclo iterativo donde se implementó la UEPS en el aula.

4.3.1 Ciclo iterativo 1: validación de la UEPS por expertos

En esta sección se presenta, en primer lugar, la validación por expertos junto con su correspondiente reflexión retrospectiva (1), insumo que fundamenta el proceso de rediseño de la UEPS. Posteriormente, se expone la implementación en el aula del primer paso de la unidad, acompañada de su respectiva reflexión retrospectiva, que permite identificar y analizar los hallazgos derivados de esta sección.

La validación de la UEPS se llevó a cabo durante el mes de junio de 2023, en las instalaciones de la Universidad de Nariño, sede posgrados. A la exposición del prototipo de la UEPS asistieron todos los expertos al proceso de validación. Se presentó el prototipo, iniciando desde la selección de contenidos de la RSL y su acople a los estándares de competencias básicas y DBA, su articulación a los requisitos de la UEPS y la incorporación de las estrategias de acuerdo con el principio de ASC. Los ítems considerados para la validación de la UEPS fueron *pertinencia temática, claridad y coherencia, la metodología y las actividades, los recursos, el impacto esperado*.

4.3.1.1 Reflexión retrospectiva 1: validación del diseño

La validación por expertos se realizó de manera conjunta durante la exposición de la UEPS. Todos los pares coincidieron en la *pertinencia temática* de la propuesta, destacando la relevancia y actualidad de los contenidos seleccionados sobre cambio climático, así como su adecuada distribución entre los componentes de alfabetización climática y las acciones orientadas a la mitigación y adaptación, derivados de la RSL. Asimismo, se reconoció que los objetivos temáticos responden a las necesidades educativas de los estudiantes, dado que varios contenidos pueden articularse con los estándares de competencias básicas y los DBA establecidos para el grado séptimo, lo que garantiza coherencia con los referentes curriculares nacionales y evita apartarse de las orientaciones sugeridas por el Ministerio de Educación Nacional.

Los expertos consideraron que el diseño de la UEPS presenta *claridad y coherencia* en el cumplimiento de cada uno de sus requisitos. Señalaron que los objetivos están redactados con precisión y que existe una adecuada articulación entre los objetivos, las actividades propuestas y los criterios de evaluación. Esta correspondencia evidencia una

planificación estructurada que favorece la secuencialidad de la enseñanza y la consecución de los propósitos formativos establecidos.

En relación con *la metodología y las actividades*, los expertos realizaron observaciones relevantes para su mejora y futura aplicación en el aula. Coincidieron en que, si bien las actividades propuestas favorecen el ASC del cambio climático y promueven la participación activa de los estudiantes, la incorporación simultánea de varios principios del ASC en cada actividad resulta excesiva para el tiempo disponible. Esta sobrecarga podría generar redundancia y confusión en el proceso de aprendizaje. Por ello, se recomendó realizar una selección más precisa y equilibrada de los principios a aplicar en cada actividad orientadora, priorizando aquellos que aseguren la progresividad, coherencia y viabilidad temporal de la secuencia didáctica.

Asimismo, se sugirió considerar la disponibilidad y accesibilidad de los recursos, priorizando aquellos que sean pertinentes y contextualizados a la realidad de los estudiantes. Los expertos también validaron los instrumentos de evaluación contemplados, destacando que permiten valorar los aprendizajes esperados mediante criterios claros, tanto formativos como sumativos, y que reconocen la disposición, participación y acción de los estudiantes en el desarrollo de las actividades, garantizando así una evaluación integral y coherente con los objetivos de la UEPS.

Finalmente, los expertos resaltaron que la UEPS promueve actitudes y prácticas responsables frente al cambio climático, al incentivar propuestas individuales y colectivas que parten de las problemáticas locales de los estudiantes y buscan contribuir a la mitigación del daño ambiental. Este aspecto valida el impacto esperado de la propuesta y evidencia su potencial de transferencia y adaptación a otros contextos educativos.

Dentro de las recomendaciones finales, se plantea dosificar y seleccionar cuidadosamente las actividades que orientan los principios del ASC, con el fin de asegurar la coherencia y viabilidad de la secuencia didáctica. Además, se propuso realizar una intervención parcial en el aula, a manera de prueba piloto, implementando el primer paso de la UEPS, correspondiente al diagnóstico de conocimientos previos, con estudiantes de grado séptimo del Liceo de Bachillerato de la Universidad de Nariño.

Rediseño de la UEPS

Acogiendo las sugerencias y observaciones de los expertos, se procedió al rediseño metodológico de la UEPS. Este ajuste tuvo como finalidad garantizar la coherencia interna del diseño, optimizando la relación entre los objetivos, los contenidos, las estrategias y los criterios de evaluación. Asimismo, se buscó fortalecer la viabilidad temporal y logística de la propuesta, evitando la sobrecarga conceptual y metodológica que podría afectar la progresividad de la secuencia didáctica. El rediseño metodológico también contempló la articulación equilibrada de los principios del ASC a lo largo de cada paso de la UEPS, asegurando su presencia continua durante el desarrollo de la unidad (Tabla 21) (Anexo 1,2,3,4,5,6). De esta manera, se consolidó una estructura didáctica más clara, organizada y pertinente, que facilitara la observación sistemática de los indicios de aprendizaje y la evaluación de la efectividad pedagógica del diseño propuesto.

La validación y aprobación del rediseño estuvo a cargo de una experta en educación ambiental y un experto en ECC.

Tabla 21.

Rediseño del prototipo de la UEPS sobre Educación para el cambio climático desde una perspectiva crítica

Semana	UEPS	TEMÁTICAS	ACTIVIDADES ORIENTADORAS	ASC *	Recolección de información	Análisis de la información
1	conocimientos previos	1. El cambio climático: actitudes y percepciones	¿cambio? ¿clima?: observación e interpretación de imágenes y memes – construye un Mapa Conceptual (MC)		Revisión documental (RD)	Análisis de contenido deductivo Rubrica para MC
2	Introducción al tema	2. ¿Qué es el clima y el tiempo atmosférico?	El cielo está oscuro: ¡va a llover! Interpretación de meme: un día en Colombia		RD: formulación de preguntas	Rúbrica para elaboración de preguntas
			Actividad experiencial y demostrativa: las nubes hoy		RD: documento escrito	Análisis de contenido Rúbrica de percepción/representación
			Actividad experimental demostrativa: formación de nubes y lluvia		RD: documento escrito	Análisis de contenido Rúbrica de percepción/representación
			“El clima nos cambió para siempre”: ¡reportando desde el lugar de los hechos!		Observación participante RD: exposición y documento escrito	Análisis de contenido
3	Diferenciación progresiva	3. ¿Para qué y cómo se calienta la tierra?	GEI: Principio de ricitos de oro, fragmento del cuento y establecen una relación con la “zona habitable”		RD: formulación de preguntas	Rúbrica para elaboración de preguntas
			Actividades prácticas demostrativas: Producción de CO ₂ y el calor:		RD: interpretación de imágenes y texto	Análisis de contenido
			Ciclo del carbono. - observa video comercial “algunos lo llaman contaminación, nosotros lo llamamos vida”		RD: formulación de preguntas	Rúbrica para elaboración de preguntas
4			Diseñar un proyecto de investigación a partir de la afirmación “las plantas absorben CO ₂ de la atmósfera”		RD: documento escrito	Análisis de contenido Rúbrica de percepción/representación

5		Sumideros de CO ₂ : conozco mi territorio - Actividad experimental investigativa. Clasificación de especies arbóreas con mayor absorción de CO ₂ en el humedal del Triunión – Envigado.			Observación participante RD: documento escrito	Análisis de contenido
6	Reconciliación integradora	4. ¿Por qué se incrementa el calor en la tierra? Deforestación, industrialización	Observa e interpreta el meme “ <i>el clima está loco</i> ”		RD: formulación de preguntas	Rúbrica para elaboración de preguntas
			Compara sus predicciones de emisiones y de absorción con el registro real. Línea de tiempo desde 1700 hasta la actualidad ¿Qué ha cambiado en el tiempo? (Deforestación, industrialización, sobrepoblación)		RD: documento escrito	Análisis de contenido Rúbrica de percepción/representación
			Calcula la huella de carbono (Deforestación)		RD: documento escrito	Análisis de contenido
7	Consolidación	5. ¿Cuáles son las consecuencias del incremento del calor en la tierra?	El calentamiento global: observación e interpretación del meme: “ <i>el puesto de pesca de Anuk, el esquimal</i> ”		RD: formulación de preguntas	Rúbrica para elaboración de preguntas
			¡La criósfera se derrite! Actividad experimental demostrativa 1. criósfera se derrite, 2. el efecto albedo		RD: Documento escrito	Análisis de contenido
			El nivel del mar aumenta: Lectura del artículo: “ <i>El aumento del nivel del mar amenaza a las pequeñas naciones insulares del Pacífico</i> ” (Adams, 2007). Mapa interactivo del nivel del mar		RD: Documento escrito	Análisis de contenido
8	Evaluación	6. ¿Cómo puedo mitigar los efectos del cambio climático?	FORO EDUCATIVO: Acciones por el clima, exposición de proyectos. Mapa conceptual: Relación de conceptos adquiridos durante el recorrido de la UEPS sobre cambio climático		RD: exposición Mapa conceptual.	Análisis de contenido Rúbrica de percepción/representación



4.3.1.2 Diagnóstico de conocimientos previos: prueba piloto

La indagación de conocimientos previos se realizó con 47 estudiantes, que cursaban grado séptimo, con edades entre los 11 y 14 años.

La *recolección de información* se llevó a cabo en dos momentos; en el primero se usaron imágenes de temáticas/ problemáticas sobre el CC centradas en cinco variables: Diferencia entre tiempo atmosférico y clima (Roychoudhury et al., 2017), efecto invernadero y GEI (García-Rodeja y Lima, 2012), Balance del clima: ciclo del carbono (You et al., 2021; Zangori et al., 2017), causas antropogénicas (Roychoudhury et al., 2017) y consecuencias (García-Rodeja y Lima, 2012). Para su selección se siguió la taxonomía de Perales y Jiménez (2002), con los criterios del grado de iconicidad y funcionalidad en la secuencia didáctica. Los estudiantes las interpretaron individualmente en una sesión de 50 minutos, detallando las palabras o conceptos que visualizaban. En el segundo momento, en equipos de cuatro estudiantes se construyó un mapa conceptual con 25 conceptos referentes a las variables asociadas al CC. La actividad se desarrolló en dos sesiones de 50 minutos cada una (Anexo 1).

Para el análisis de la información se procedió, en primera instancia, a examinar de manera exclusiva la estructura y el contenido semántico de los mapas conceptuales, siguiendo la metodología propuesta por Lopera Pérez y Bolívar (2018), adaptada de Cañas et al. (2015). Posteriormente, los patrones emergentes, tanto de las expresiones utilizadas por los estudiantes en la interpretación de las imágenes como de las proposiciones construidas en los mapas conceptuales, fueron analizados mediante un proceso de análisis de contenido cualitativo inductivo (Hernández Sampieri et al., 2014).

Con el fin de caracterizar los resultados, se describió la frecuencia de los elementos explicativos identificados en las imágenes utilizando porcentajes, mientras que en el caso de los mapas conceptuales se registraron las repeticiones de las proposiciones dentro de cada categoría analítica. Como criterio de validez de la investigación, se llevaron a cabo dos tipos de triangulación: por un lado, la triangulación entre diferentes fuentes de información; y por otro, la triangulación teórica, que consistió en contrastar los datos obtenidos con los planteamientos del marco conceptual (Cisterna Cabrera, 2005).

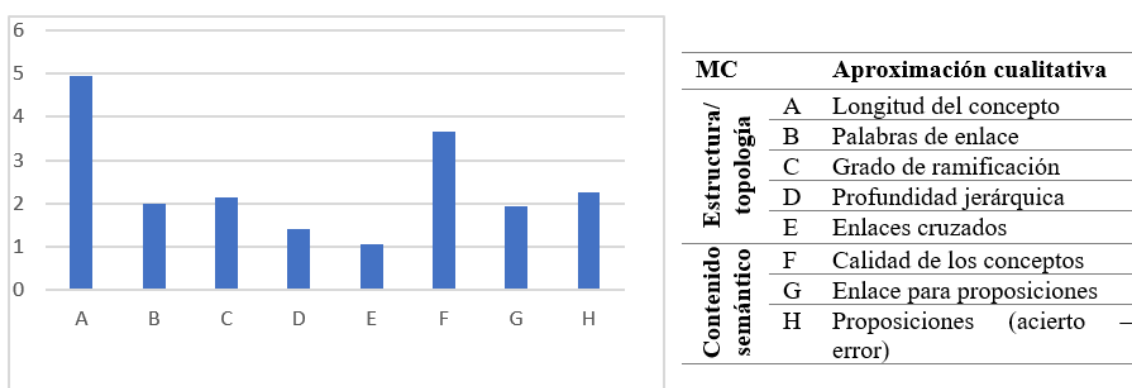
Resultados de indagación de conocimientos previos Liceo Universidad de Nariño

- Estructura y contenido semántico de los mapas conceptuales

La valoración de mapas considera varios ítems dentro de dos variables: en la *estructura* se evalúa (A) la longitud del concepto, (B) palabras de enlace, (C) grados de ramificación, (D) profundidad jerárquica y (E) enlaces cruzados y en el *contenido semántico* (F) la calidad de los conceptos, (G) enlace para proposiciones, (H) proposiciones (acierto – error) (Figura 23). En el análisis de la información recolectada, es importante mencionar que los ítems A y F de la valoración presentan un puntaje alto, debido a que los conceptos no fueron elegidos por los estudiantes, sino que fueron aportados por la investigadora. La calificación más baja se relacionó con la profundidad jerárquica y los enlaces cruzados. Fue difícil establecer niveles en la profundidad jerárquica, ya que varios equipos no utilizaron palabras de enlace, tampoco las diferenciaron por tamaño o color, y la ubicación de los conceptos en la mayoría de los casos se dio de manera lineal.

Figura 23.

Estructuración de conocimientos mediante mapas conceptuales



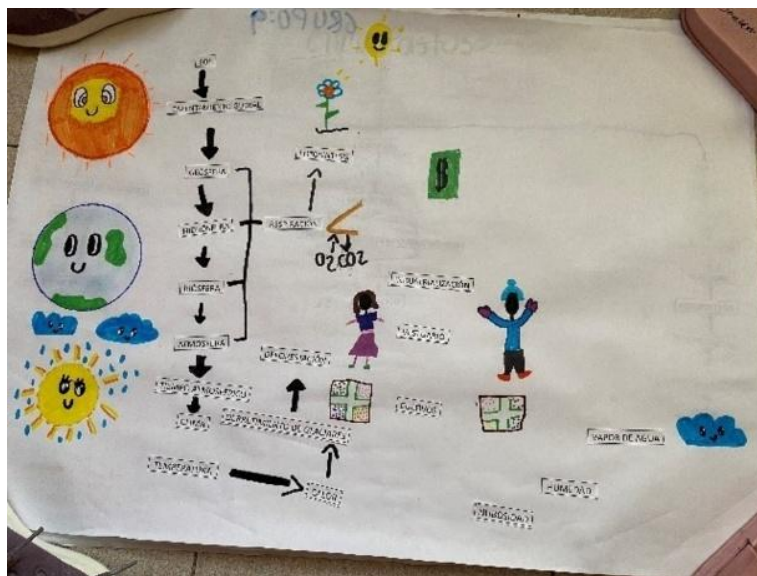
Escribir la palabra de enlace para darle sentido a la oración al unir los conceptos fue el ítem que presentó mayor dificultad. Algunos optaron por no usar palabras de enlace (Figura 24a), lo que impidió plantear proposiciones entre conceptos; en otros casos, utilizaron palabras de enlace para relacionar todos los conceptos, pero usaron la misma palabra de

enlace (se da, influye, es) en más de la mitad de los conceptos. En otros equipos, se usaron palabras que permitieron la formación de proposiciones (Figura 24b).

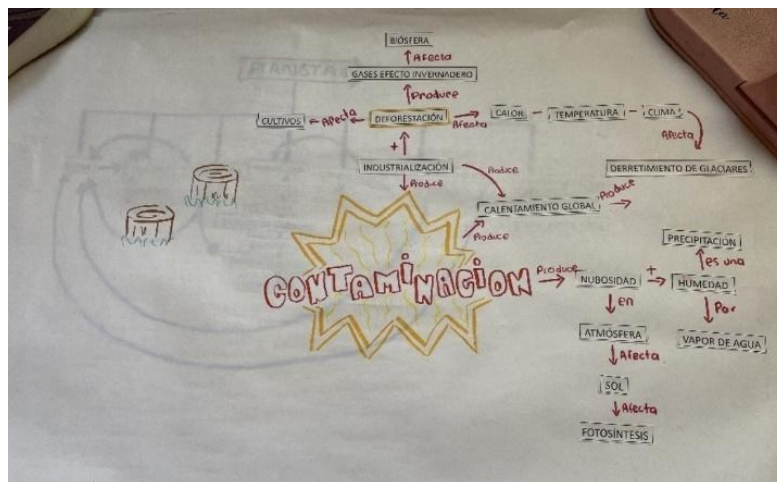
Figura 24.

Mapas conceptuales: a. sin palabras de enlace, b. usando palabras de enlace

a.



b



"destrucción del planeta" (6%), "planeta" (6%), "clima" (6%), "contaminación" (6%) y "CC" (6%). Los estudiantes no relacionaron los conceptos propuestos con el sistema climático.

Temáticas analizadas:

- Conocimientos previos sobre diferencia entre tiempo atmosférico y clima

Se evidenciaron conocimientos insuficientes sobre estos dos conceptos (Tabla 22). En la interpretación de las imágenes, el concepto de tiempo atmosférico se confundió principalmente con el CC o la variación en el clima. Los estudiantes no realizaron proposiciones con el concepto tiempo atmosférico. Con respecto al clima, reconocieron la altitud y la influencia de la temperatura como factores que facilitan la producción de alimentos y la diversidad de flora y fauna. Sin embargo, mencionaron escasamente otras variables que influyen en la determinación del clima de un lugar.

Tabla 22.

Concepciones sobre tiempo atmosférico y clima

Variables	Interpretación de imágenes (%)		Proposiciones de mapas conceptuales
Tiempo atmosférico	Cambio climático	21	-----
	Variación en el clima	25	
	Cambio de temperatura	4.3	
	Calentamiento global	4.3	
Clima	Producción de alimentos	29	El clima depende de la temperatura.
	Escala de temperatura para alimentos	12	
	Diversidad de fauna y flora	17	
	Escalas de clima	19	
	Pisos térmicos	14	El clima se produce en la atmósfera.
	En el mar calor y en lo alto frío	23	
	Vestimenta	17	
	Costumbres	4	

Estos resultados coinciden con lo reportado por Cartwright et al. (2021), quienes encuentran que los estudiantes de secundaria suelen tener problemas para distinguir los dos conceptos, sin reconocer que el clima tarda décadas en cambiar sus patrones. Las alteraciones que se presentan marcan una gran diferencia cuando se calcula el tiempo necesario para

mitigar sus efectos. De acuerdo con Roychoudhury et al. (2017), el escaso conocimiento del CC surge de conocimientos muy básicos de los dos conceptos. Estos resultados sugieren que los estudiantes carecen de una comprensión sólida del tiempo atmosférico, concepto que contribuye a una mejor comprensión del clima, su importancia vital y las consecuencias de sus alteraciones.

- ***Conocimientos previos sobre causas naturales: efecto invernadero y GEI***

El efecto invernadero fue relacionado con el calentamiento global, el aumento de la temperatura y el CC. Incluso lo consideraron resultado de la contaminación y de los daños al planeta. Al interpretar los Gases de Efecto Invernadero (GEI), aunque mencionaron la intervención del sol en algunos procesos relacionados con la tierra, el agua y ciertos gases, no reconocieron su mecanismo de acción. Llama la atención que, aunque la imagen no mencionaba la capa de ozono, este fue un concepto recurrente en su interpretación. En las proposiciones se identificó que los estudiantes relacionaron el calentamiento global con los GEI. Aunque existe una incipiente articulación entre los GEI y el calor, se evidenció confusión entre los conceptos. La interpretación de imágenes y proposiciones sobre el efecto invernadero y los GEI se describen en la Tabla 23.

Tabla 23.

Concepciones sobre el efecto invernadero y GEI

Categoría	Interpretación de imágenes (%)		Proposiciones de mapas conceptuales
Efecto invernadero	Calentamiento global	36	El calentamiento global proviene del sol (2 veces).
	Aumento de temperatura	35	
	Cambio de clima	17	La causa del calentamiento global es la temperatura.
	Contaminación	14	La causa del calentamiento global es el clima.
	Daños al planeta	14	
GEI	Capa de ozono	19	El calentamiento global produce GEI (2 veces).
	Atmósfera	21	Los GEI afectan el clima y el tiempo atmosférico.
	El sol produce calor	6	
	El sol genera luz y color	8	La temperatura causa los GEI.
	El sol produce fenómenos	10	
	Evaporación del agua	13	

En la comprensión de las causas naturales del fenómeno, es esencial reconocer la importancia del efecto invernadero y sus beneficios para la humanidad, su mecanismo de funcionamiento, la acción del sol y los gases que lo producen. En este estudio, no se reconoció el efecto invernadero como fundamental para la vida en el planeta ni la necesidad de un equilibrio térmico para la supervivencia. Posiblemente, la selección de la imagen condujo a una interpretación diferente debido a su carácter problematizador. No obstante, los estudiantes expresaron ideas sobre el exceso de calor debido al calentamiento global, el aumento de temperatura o el CC, atribuibles a la contaminación y los daños al planeta. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de García-Rodeja y Lima (2012).

Los GEI son desconocidos para los estudiantes, y aunque algunos mencionaron la atmósfera como su lugar de ubicación, la referencia a la capa de ozono también fue frecuente. Estos hallazgos coinciden con estudios reportados por Cartwright et al. (2021), García-Rodeja y Lima (2012), García-Vinuesa et al. (2022), Ladrera y Robredo (2022) y Varela et al. (2020), que indican que los estudiantes frecuentemente asocian la capa de ozono con el CC y el efecto invernadero. Otros estudios revelan que los estudiantes vinculan el CO₂ con el incremento del agujero en la capa de ozono (Cartwright et al., 2021; Roychoudhury et al., 2017) y su influencia en los desastres naturales (García-Vinuesa et al., 2022).

- ***Conocimientos previos sobre el balance del clima: ciclo del carbono***

Los estudiantes reconocen algunos procesos relacionados con el ciclo del carbono, principalmente la fotosíntesis, la producción de oxígeno y la respiración, que implican la expulsión de CO₂ o el intercambio de gases. Sin embargo, mencionan escasamente la descomposición, la red trófica y el crecimiento de las plantas. Además, no lograron relacionar estos conceptos con el balance del clima. No se mencionaron proposiciones alusivas al ciclo del carbono (Tabla 24).

Tabla 24.

Concepciones sobre balance del clima: ciclo del carbono

Categoría	Interpretación de imágenes	Proposiciones de mapas conceptuales
Balance del clima:	Fotosíntesis	64
	Producción de oxígeno	13

ciclo del carbono	Proceso de respiración	15	
	Expulsión de CO ₂	15	
	Intercambio de gases	11	
	Excremento	2	
	Abono	4	
	Un ciclo como proceso	13	
	Ciclo de las plantas	4	
	Ciclo de la vida	8	

El ciclo del carbono natural es fundamental para el equilibrio climático, y su alteración es un factor clave en el incremento de los GEI (Roychoudhury et al., 2017; You et al., 2021). Los estudiantes no reconocen los elementos del ciclo del carbono como componentes esenciales del equilibrio climático. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Roychoudhury et al. (2017), quienes señalan que los estudiantes no lograron conectar los conceptos ni demostrar una comprensión del papel de la fotosíntesis, la respiración y la cadena alimentaria en el balance del sistema climático.

El reconocimiento de estos elementos es fundamental para proponer alternativas de mitigación sustentadas en fundamentos conceptuales, como la reforestación y la aforestación. Dichas estrategias resaltan el papel de las plantas en la captura y transformación del CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero.

- *Conocimientos previos sobre causas antropogénicas*

Los estudiantes reconocen claramente la intervención humana como una fuente de alteración climática. Sin embargo, en las proposiciones se observó que utilizan de manera indistinta los conceptos de calentamiento global, GEI y CC (Tabla 25).

Tabla 25.

Concepciones sobre causas antropogénicas

Categoría	Interpretación de imágenes (%)	Proposiciones de mapas conceptuales
Causas antropogénicas	Contaminación humana	43
	Deforestación	40
	Industrias	19
	Humano destructor	23
	Ignorancia de humanos	11
	Necesidad de concientización	6
		La causa del calentamiento global es la industrialización, (4 veces), deforestación, combustible fósil y el CO ₂ . Los GEI se dan por la industrialización (3 veces). La industrialización se produce por combustible fósil. La industrialización y deforestación afectan el clima y la temperatura.

La mayoría de los estudiantes reconocen al ser humano como el actor principal en el desequilibrio climático. Este hallazgo coincide con lo ya expuesto por varios autores (Agosta Scarel & Cuetos Revuelta, 2023; García-Vinuesa et al., 2022; Roychoudhury et al., 2017; Varela et al., 2020), quienes reportaron que los estudiantes atribuyen la alteración climática a la industrialización y al uso del transporte (Ballantyne et al., 2016). Sin embargo, muchos consideran el fenómeno como un problema distante de ellos, similar a lo observado por Ballantyne et al. (2016) en estudiantes de secundaria en Suecia, quienes reconocen la acción humana pero no consideran su propia participación en la alteración del fenómeno.

Conocimientos previos sobre consecuencias del CC

Los participantes identificaron varias consecuencias del CC, principalmente el derretimiento de glaciares, el calentamiento global, los cambios en el tiempo y el CC. Además, reflexionaron sobre los peligros que afectan a diferentes poblaciones de animales y seres humanos y, de los impactos en los alimentos, la vida y el hábitat (Tabla 26).

Tabla 26.

Concepciones sobre consecuencias del CC

Variables	Interpretación de imágenes	Proposiciones de mapas conceptuales
Consecuencias	Derretimiento de glaciares 55	La industrialización afecta los cultivos (2 veces) y la respiración La industrialización causa derretimiento de glaciares (3 veces)
	Calentamiento global 38	La deforestación causa derretimiento de glaciares.
	Cambio de tiempo 28	La contaminación produce Calentamiento global.
	Cambio de clima 6	La contaminación produce nubosidad (4 veces)
	Contaminación 6	Industrialización produce contaminación.
	Cambio de temperatura 0	La industrialización causa deforestación.
	Sol mucho tiempo 11	El calentamiento global produce derretimiento de glaciares (3 veces).
	Peligro 23	El calentamiento global irregulariza el clima. El calentamiento global afecta la respiración. El calentamiento global destruye la biósfera, la atmósfera, la hidrósfera y geósfera. El derretimiento de glaciares destruye cultivos y viviendas. La temperatura provoca el derretimiento de glaciares.

El tiempo atmosférico afecta la temperatura lo que resulta en derretimiento de glaciares.

En la evaluación de las proposiciones relacionadas con las consecuencias, se notó el uso de enlaces cruzados con las causas antropogénicas, con proposiciones más completas, que permitieron percibir que reconocen las interacciones de ambos aspectos. Sin embargo, se evidencia que los conceptos de CC, calentamiento global y GEI se tratan de manera indistinta en las proposiciones planteadas. Los estudiantes identificaron diversas consecuencias en el ambiente natural, en la temperatura, los glaciares, las plantas y en los ambientes modificados por la humanidad, como los cultivos y las viviendas.

Se percibió en los participantes una mayor fluidez en las proposiciones relacionadas con las consecuencias, asociándolas con los impactos de las acciones humanas en el ambiente natural y en el modificado, como es el caso de las viviendas y los cultivos. Diversos estudios muestran que las causas antropogénicas y las consecuencias que ello conlleva son las categorías más reconocidas por los estudiantes de secundaria (Agosta Scarel & Cuetos Revuelta, 2023; García-Vinuesa et al., 2022; García-Rodeja y Lima, 2012; Roychoudhury et al., 2017).

La concepción más fuerte se relacionó con el derretimiento de glaciares, aun cuando la imagen no tenía relación con ellos. Es posible que los estudiantes asocien el CC con el derretimiento de icebergs o glaciares, debido a que es una de las representaciones más populares y frecuentemente difundidas por los medios de comunicación.

4.3.1.3 Reflexión retrospectiva 1 de las estrategias y datos obtenidos.

La identificación de los conocimientos previos de los estudiantes relacionados con el sistema climático constituye un elemento esencial para promover un aprendizaje significativo y crítico del fenómeno. Reconocer lo que los estudiantes ya saben, tanto en términos de fortalezas como de dificultades, permite seleccionar materiales educativos y estrategias pedagógicas que partan de sus propias representaciones (Sexton, 2020), facilitando así la comprensión de los elementos clave del sistema climático. En esta dirección, se consideró pertinente el uso de diversas imágenes asociadas a los conceptos vinculados al cambio climático, dado que estas favorecieron la relación del fenómeno con situaciones de la vida

cotidiana y proporcionaron información relevante para orientar cada uno de los ítems de la UEPS. Asimismo, el uso de mapas conceptuales contribuyó a la organización y jerarquización de los conceptos mediante proposiciones lineales y cruzadas, lo que permitió hacer visible la estructura del conocimiento. Esta estrategia ayudó a identificar conexiones entre conceptos, así como vacíos o contradicciones en las ideas de los estudiantes, mostrando su pertinencia para la activación y valoración de conocimientos previos. Los hallazgos más relevantes del diagnóstico de conocimientos previos permitieron reconocer aspectos fundamentales para la posterior implementación de la UEPS:

- Persisten confusiones entre los conceptos de *tiempo atmosférico* y *clima*.
- El efecto invernadero no es reconocido como un proceso natural esencial para la vida; se confunde con el calentamiento global y con el cambio climático.
- El ciclo del carbono no se identifica como parte del balance climático
- Se reconocen diferentes causas antropogénicas relacionadas con el cambio climático.
- Se identifican algunas consecuencias del fenómeno, aunque de manera parcial.

Por otro lado, la técnica de observación participante permitió profundizar en estos hallazgos, evidenciando aspectos relevantes del proceso de enseñanza y aprendizaje. En primer lugar, es preciso mencionar que las imágenes empleadas para la indagación de ideas previas fueron variadas en su intencionalidad comunicativa, incorporando humor, problematización, descripción, sarcasmo, exageración y representaciones de la realidad. Esta diversidad generó reacciones diferenciadas: las imágenes humorísticas provocaron risas; las problematizadoras generaron expresiones de preocupación; algunas despertaron manifestaciones de desconocimiento; y aquellas con matices sarcásticos o exagerados fueron rápidamente reconocidas. En conjunto, las imágenes resultaron atractivas y significativas, favoreciendo la activación y exploración de los conocimientos previos.

En segundo lugar, durante la construcción de los mapas conceptuales se evidenció una interacción positiva entre los integrantes de los equipos. Aunque no se asignaron roles de manera formal, los estudiantes distribuyeron espontáneamente funciones como líder, expositor y colaboradores, lo que facilitó un desempeño coordinado y orientado al logro de

la actividad. Esta dinámica reflejó habilidades de autorregulación, comunicación y cooperación.

En relación con la gestión del tiempo, se constató que la distribución establecida fue adecuada para el desarrollo de las actividades, permitiendo a los estudiantes avanzar sin apresuramientos y con el espacio necesario para discutir, deliberar y revisar sus producciones.

Finalmente, la disposición en el aula, la participación activa y las preguntas formuladas durante la sesión evidenciaron un marcado interés por el tema. Los estudiantes expresaron dudas, curiosidades y posibles acciones para mitigar los efectos del cambio climático, demostrando un involucramiento cognitivo y afectivo y unos indicios de orientación hacia la acción reflexiva frente al fenómeno.

Ajustes al diseño

En este caso, no fue necesario realizar ajustes a la propuesta de indagación de conocimientos previos, ya que las estrategias implementadas en la prueba piloto permitieron obtener información oportuna y suficiente para su aplicación en el contexto definitivo donde se desarrollará la UEPS completa. Dado que la indagación cumplió adecuadamente con su propósito en esta sección preliminar, la propuesta se mantendrá sin modificaciones para su implementación en el contexto final.

4.3.2 Ciclo iterativo 2: implementación de la UEPS en el aula

Los pasos establecidos en la UEPS, se implementaron entre dos y tres actividades orientadoras para cada concepto abordado (Tabla 27). A continuación, se muestra el hilo que conduce la presentación de los resultados de cada una de las actividades propuestas.

Tabla 27.

Estructura para presentar los resultados de las actividades

Requisito de la UEPS	Actividades orientadoras
	Mapa conceptual inicial.

1. Conocimientos previos	Interpretación de imágenes (tiempo atmosférico y clima, efecto invernadero y GEI; balance del clima; causas antropogénicas y consecuencias)
2. Nivel introductorio:	Tiempo atmosférico: formulación de preguntas y diseño de experimento del ciclo del agua.
Tiempo atmosférico y clima	Clima: entrevista a pobladores, consulta la información de cada territorio Diferencia entre tiempo atmosférico y clima: mapa conceptual.
3. Diferenciación progresiva:	EI y GEI: Zona habitable: formulación de preguntas y análisis de información respectiva a la zona habitable.
Efecto invernadero y GEI Ciclo del carbono	Ciclo del carbono: formulación de preguntas y diseño de experimento. Caracterización de plantas “humedal “el Triánón”: estimación de captura de Carbono.
4. Reconciliación integradora: Causas antropogénicas del cambio climático	Industrialización y deforestación: formulación de preguntas. Percepción de emisiones de CO ₂ en el mundo. Cálculo de huella de Carbono: identifican los factores de emisión de CO ₂ en sus hogares.
5. Consolidación Consecuencias del cambio climático	Criósfera: formula preguntas con una imagen. Reconoce algunos tipos de criósfera mediante experimentos. El caso Tuvalu: análisis de artículo periodístico.
6. Evaluación	Proyectos locales de mitigación de cambio climático. Mapa conceptual final.

4.3.2.1 Diagnóstico de conocimientos previos

En la IE la Paz, se usaron las mismas herramientas descritas en la prueba piloto y se obtuvieron resultados similares en cada uno de los conceptos abordados (sección 4.3.1.2).

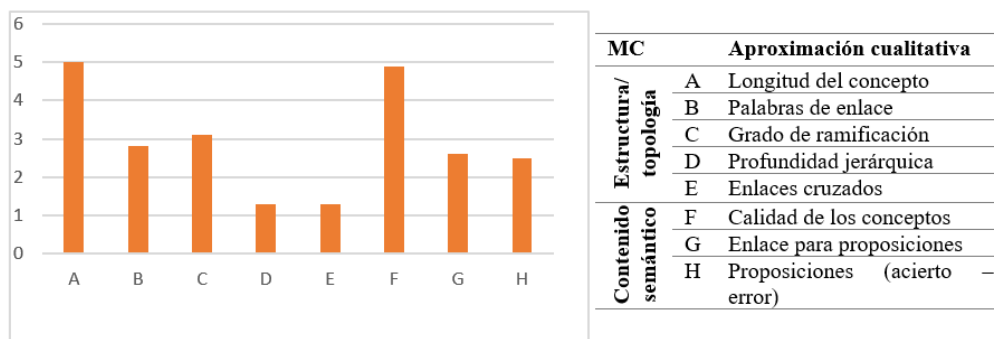
A continuación, se presentan los resultados de la IE La Paz, similares a la distribución expuesta con los estudiantes del liceo de la Universidad de Nariño.

- *Estructura y contenido semántico de los mapas conceptuales*

La calificación más baja se relacionó con la profundidad jerárquica y los enlaces cruzados (Figura 25). Fue difícil establecer niveles en la profundidad jerárquica, ya que algunos equipos no utilizaron palabras de enlace, tampoco las diferenciaron por tamaño o color, y la ubicación de los conceptos en la mayoría de los casos se dio de manera lineal.

Figura 25.

Estructuración de conocimientos mediante mapas conceptuales



Hubo dificultad en encontrar la palabra de enlace para relacionar los conceptos. En algunos casos no usaron ningún enlace (Figura 26a), y en otros usaron la misma palabra (se da, influye, es) en más de la mitad de los conceptos. Algunos equipos usaron palabras de enlace que permitieron la formación de proposiciones (Figura 26b).

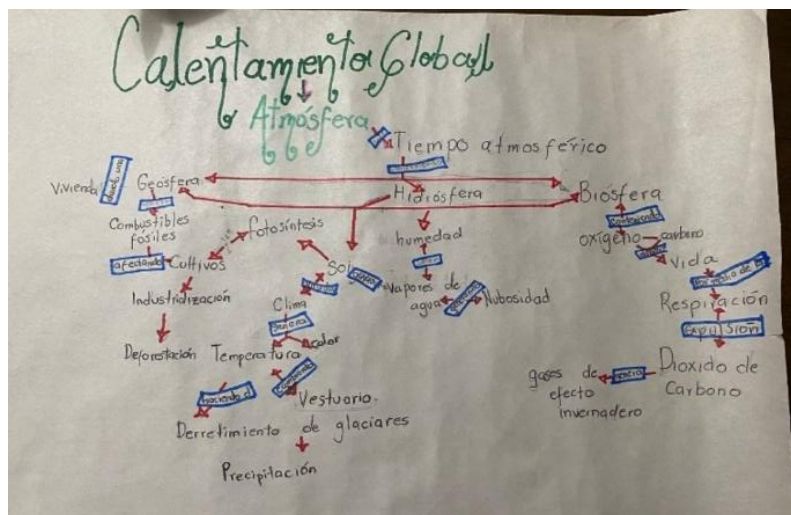
Figura 26.

Mapas conceptuales: a sin palabras de enlace. b usando palabras de enlace

a



b



Los estudiantes escogieron autónomamente la raíz principal del mapa atendiendo al tema del sistema climático: el 25% fue calentamiento global, el 25% fue tierra, el 25% fue sol y el 25% no atribuyeron ninguna palabra. Los estudiantes no relacionaron los conceptos propuestos con el sistema climático.

- **Conocimientos previos acerca de la diferencia entre tiempo atmosférico y clima**

Se evidenciaron conocimientos insuficientes sobre estos dos conceptos (Tabla 28). En la interpretación de las imágenes, el concepto de Tiempo Atmosférico (TA) se confundió principalmente con el CC y cambio de temperatura. Los estudiantes realizaron proposiciones relacionando el TA con la atmósfera. Con respecto al clima, reconocieron la altitud y la influencia de la temperatura como factores que facilitan la producción de alimentos y la diversidad de flora y fauna. Escasamente mencionaron las costumbres como un elemento que determina el clima.

Tabla 28.

Concepciones sobre tiempo atmosférico y clima

Variables	Interpretación de imágenes (%)		Proposiciones de mapas conceptuales
Tiempo atmosférico	Cambio climático	42	De la atmósfera sale el tiempo atmosférico
	Variación en el clima	0	
	Cambio de temperatura	18.2	La atmósfera tiene Tiempo atmosférico
	Calentamiento global	3	
Clima	Producción de alimentos	39	El clima crea humedad sale nubosidad.
	Escala de temperatura para alimentos	39	
	Diversidad de fauna y flora	33	
	Escalas de clima	18	El sol crea el clima.
	Pisos térmicos	15	
	En el mar calor y en lo alto frio	15.1	El clima influye en los cultivos y en la precipitación.
	Vestimenta	0	
	Costumbres	6	

- ***Conocimientos previos sobre causas naturales: efecto invernadero y GEI***

El efecto invernadero fue relacionado con el calentamiento global, el aumento de la temperatura y el CC. Incluso lo consideraron resultado de la contaminación y de los daños al planeta. Al interpretar los GEI, aunque mencionaron la intervención del sol en algunos procesos relacionados con la tierra, el agua y ciertos gases, no reconocieron su mecanismo de acción. Llama la atención que, aunque la imagen no mencionaba la capa de ozono, este fue un concepto recurrente en su interpretación. Se relaciona al CO₂ con la producción de calor. En las proposiciones se identificó que los estudiantes relacionaron el calentamiento global con los GEI. Aunque existe una incipiente articulación entre los GEI y el calor, se evidenció confusión entre los conceptos. La interpretación de imágenes y proposiciones sobre el efecto invernadero y los GEI se describen en la Tabla 29.

Tabla 29.

Concepciones sobre el efecto invernadero y GEI

Categoría	Interpretación de imágenes (%)	Proposiciones de mapas conceptuales	
Efecto invernadero	Calentamiento global	33	El sol afecta el calentamiento global.
	Aumento de temperatura	36	
	Cambio de clima	18	
	Contaminación	12	
	Daños al planeta	6	
GEI	Capa de ozono	18	El CO ₂ genera GEI.
	Atmósfera	3	
	El sol produce calor	24	

El sol genera luz y color	3	La temperatura influye en los GEI.
El sol produce fenómenos	0	
El sol actúa sobre el agua y rebota	21	La temperatura produce GEI.
Evaporación del agua	18	
Formación de lluvia	9	
CO ₂ produce calor	12	
Presencia de CO ₂	12	

- ***Conocimientos previos sobre el balance del clima: ciclo del carbono***

Los estudiantes reconocen algunos procesos relacionados con el ciclo del carbono, principalmente la fotosíntesis, la producción de oxígeno y la respiración, que implican la expulsión de CO₂ o el intercambio de gases. Sin embargo, mencionan escasamente la descomposición, la red trófica y el crecimiento de las plantas. Además, no logran relacionar estos conceptos con el balance del clima. No se mencionan proposiciones alusivas al ciclo del carbono (Tabla 30).

Tabla 30.

Concepciones sobre balance del clima: ciclo del carbono

Categoría	Interpretación de imágenes		Proposiciones de mapas conceptuales
Balance del clima: ciclo del carbono	Fotosíntesis	6	Los cultivos salen de la fotosíntesis. (4 veces)
	Producción de oxígeno	24	La fotosíntesis actúa en el ciclo de las plantas.
	Uso del CO ₂	6	El sol ayuda a la fotosíntesis
	Producción de alimento	3	
	Proceso de respiración	6	
	Expulsión de CO ₂	12	La fotosíntesis es buena para el CO ₂ nos ayuda a la respiración.
	Intercambio de gases	0	
	Excremento	3	
	Abono	6	
	Un ciclo como proceso	3	
	Ciclo de las plantas	6	
	Cadena alimenticia	12	
	Crecimiento de las plantas	15	
	Sol participante	9	
	Ciclo de la vida	0	

- ***Conocimientos previos sobre causas antropogénicas***

Los estudiantes reconocen claramente la intervención humana como una fuente de alteración climática. Tienen proposiciones con aciertos alusivas a la intervención de los humanos en los cambios del clima (Tabla 31).

Tabla 31.

Concepciones sobre causas antropogénicas

Categoría	Interpretación de imágenes (%)		Proposiciones de mapas conceptuales
Causas antropogénicas	Contaminación humana	46	La industrialización utiliza combustibles fósiles.
	Deforestación	26	La industrialización es mala para la temperatura.
	Industrias	30	El clima que es afectado por la deforestación.
	Humano destructor	21	La deforestación influye en el calentamiento global.
	Ignorancia de humanos	9	Combustibles fósiles se usan para industrialización para vivienda y para vestuario.
	Necesidad de concientización	3	

Conocimientos previos sobre consecuencias del CC

Los participantes identificaron varias consecuencias del CC, principalmente el derretimiento de glaciares, el calentamiento global y los cambios en el tiempo. Además, reflexionaron sobre los peligros que afectan a diferentes poblaciones de animales y seres humanos y, de los impactos en los alimentos, la vida y el hábitat (Tabla 32).

Tabla 32.

Concepciones sobre consecuencias del CC

Variables	Interpretación de imágenes		Proposiciones de mapas conceptuales
Consecuencias	Derretimiento de glaciares	55	Industrialización causa deforestación. El calor produce deforestación. El calentamiento global afecta a los cultivos por falta de humedad afecta la fotosíntesis y por falta de oxígeno afecta la respiración.
	Calentamiento global	38	Geósfera genera los combustibles fósiles afectando los cultivos.
	Cambio de tiempo	28	La temperatura hace el derretimiento de glaciares (3 veces).
	Cambio de clima	6	El calentamiento global produce derretimiento de glaciares (2 veces).
	Contaminación	6	
	Cambio de temperatura	0	
	Sol mucho tiempo	11	
	Peligro	23	

En los conocimientos previos relacionados con todos los conceptos asociados al CC no se identificaron diferencias entre los estudiantes del Liceo universidad de Nariño y los de la IE la Paz. Es posible que la difusión por medios de comunicación esté vinculada con las concepciones que los estudiantes han construido sobre el fenómeno, por ello sus percepciones son similares en ambos escenarios.

Las expresiones de los estudiantes revelan que el fenómeno es un tema presente en su cotidianidad, aunque se percibe confusión entre los conceptos CC, calentamiento global y GEI. A pesar de estas confusiones, los estudiantes demuestran sensibilidad hacia la problemática global del CC, lo que revela una base para desarrollar estrategias educativas que aborden estas confusiones y fortalezcan la comprensión del sistema climático.

Dentro de las dificultades, surge la necesidad de familiarizar a los estudiantes con conceptos como TA y clima; esto podría ayudar en su diferenciación y posterior decisión de actuar para mitigar los daños (Cartwright et al., 2021). Los estudiantes desconocen el efecto invernadero y los GEI como fundamentales para la vida (García-Vinuesa et al., 2022).

Al no reconocer los GEI, tampoco relacionan al CO₂ como insumo para la alimentación de las plantas y, por ende, como facilitador del equilibrio climático (Roychoudhury et al., 2017). La comprensión del ciclo natural del carbono permite elaborar propuestas de mitigación del fenómeno a través de acciones de reforestación y aforestación.

Entre las fortalezas reveladas en el estudio, los estudiantes reconocen la intervención del ser humano en la alteración climática y las consecuencias que esta acarrea. Estos hallazgos pueden llevar a una mayor conciencia de responsabilidad individual y colectiva y motivar el inicio de prácticas sostenibles para promover cambios positivos en el entorno. Por otro lado, invitan a profundizar el reconocimiento de las causas para plantear posibles soluciones.

A continuación, se aborda cada concepto planteado en los conocimientos previos, para construirlos y asociarlos con el cambio climático con miras a buscar propuestas de adaptación y mitigación.

4.3.2.2 Introducción al tema: tiempo atmosférico y clima

La secuencia de actividades desarrollada en el nivel introductorio de la UEPS favoreció la construcción progresiva de los conceptos de tiempo atmosférico y clima, permitiendo a los estudiantes reconocer sus diferencias y comprender su relevancia en el contexto del cambio climático. La distinción entre fenómenos de corta duración y patrones prolongados es fundamental no solo desde una perspectiva conceptual, sino también desde una postura formativa orientada a la acción. Tal como señalan Cartwright et al. (2021), se necesitan al menos tres décadas para que el clima muestre cambios significativos, lo que implica que las decisiones y acciones de mitigación deben tomarse lo antes posible para que tengan efectos a largo plazo. Comprender esta diferencia permite que los estudiantes reconozcan la urgencia de intervenir frente a problemas ambientales contemporáneos.

El desarrollo de los conceptos se vio potenciado por tres tipos de actividades clave: el cuestionamiento, la percepción–representación y el conocimiento como lenguaje. Las actividades de cuestionamiento movilizaron la curiosidad de los estudiantes y permitieron identificar las relaciones conceptuales que consideraban relevantes para comprender el fenómeno climático (Tabla 33). Además, facilitaron el acceso a sus ideas previas y a sus modos de razonar sobre los fenómenos atmosféricos, revelando relaciones causales, intereses y vacíos conceptuales. Este proceso inicial activó la disposición cognitiva necesaria para avanzar hacia la indagación y la construcción progresiva de explicaciones científicas.

Tabla 33.

Clasificación de preguntas formuladas por los estudiantes: a) tiempo atmosférico. b) clima

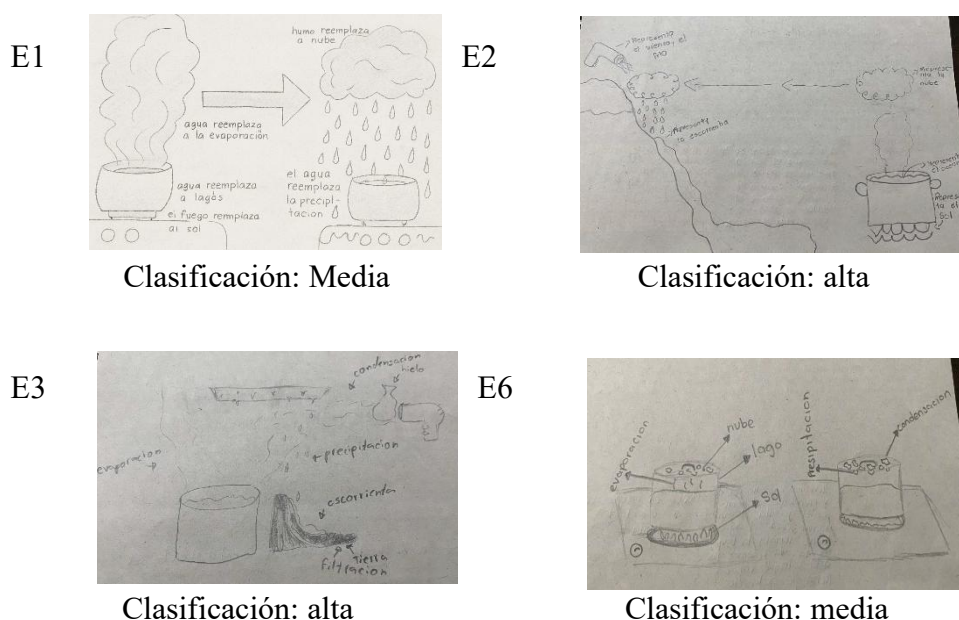
Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación López Ríos et al., (2014)	Clasificación Sanjosé y Torres, (2014)
E 1	a) ¿Cómo afecta la contaminación al tiempo atmosférico en Colombia?	Alta	Explicativa
	b) ¿Por qué crees que ha aumentado la temperatura en tu región?	Alta	Explicativa
E 2	a) ¿Hay algo que afecte al sol en el espacio para que cambie la temperatura tan drásticamente?	Alto	Asociativa
	b) ¿Cómo pueden prevenir el aumento del mar para que no afecten las viviendas, los cultivos?	Alta	Predictiva
E 3	a) ¿Qué hace que el tiempo atmosférico afecte en varios lugares?	Alta	Explicativa

E 6	b)	¿Cómo se podría generar un desarrollo ecosistémico sostenible para cuidar el aire?	Alta	Explicativa
	a)	¿cómo hacemos para estabilizar el tiempo atmosférico en Colombia?	Media	Predictiva
	b)	¿Por qué los meses influyen en el cambio del clima?	Alta	Explicativa

Posteriormente, la actividad basada en el principio de percepción–representación favoreció que los estudiantes transformaran sus interpretaciones iniciales del tiempo atmosférico en representaciones simbólicas y experimentales (Figura 27), permitiendo reconstruir mecanismos fundamentales, como los procesos del ciclo del agua.

Figura 27.

Percepciones y representaciones del ciclo del agua



La actividad de conocimiento como lenguaje, en la que organizaron información sobre variables climáticas, impactos y acciones de mitigación en distintos territorios, permitió que los estudiantes estructuraran y comunicaran de manera coherente las relaciones entre los conceptos (Tabla 34). Este proceso no solo consolidó el significado de tiempo atmosférico y clima, sino que también fomentó la comprensión de la complejidad de los impactos del cambio climático y las posibles respuestas para afrontarlo, tal como señalan García-Vinuesa et al. (2022), quienes enfatizan en la importancia de integrar dimensiones sociales y ambientales en la interpretación del clima.

Tabla 34.*Caracterización climática de los territorios analizados por los estudiantes*

Equipo	Variables atmosféricas	Influencia del clima	Impactos ambientales	Impactos sociales	Causas de los impactos	Propuestas de mitigación
E1 Sierra Nevada del Cocuy	Temperatura Precipitación	Vestuario, alimentación	Derretimiento del glaciar. Sequias	Afectó el agua de consumo	Turistas hacen daño	Pedir regulación desde el gobierno
E2 Cartagena de indias	Temperatura Precipitación	Vestuario Alimentación	Elevación del nivel del mar Inundaciones Aumento de precipitaciones	Afecta las viviendas Afecta el alimento	Turistas hacen daño	Muro de contención, no se piensa en atacar la causa
E3 Bogotá	Temperatura Precipitación	Vestuario, Alimentación	Llegada de zancudos, Contaminación del aire Cambios en la temperatura Aumento de precipitaciones	Enfermedades, respiratorias	Tala de árboles en los cerros	Control en el uso de vehículos
E4 Puerto Leguizamo	Temperatura precipitación	Vestuario, alimentación depende del mes, porque siembran de acuerdo con las lluvias	Variación temperatura variación en la precipitación afectó la ganadería	Forma de vivir forma de trabajar	Tala indiscriminada de árboles	Cambiar el tipo de trabajo

Finalmente, los estudiantes elaboraron mapas conceptuales que permitieron consolidar la comprensión de las diferencias entre el tiempo atmosférico y el clima (Figura 28). En términos generales, se evidenciaron avances en la construcción de estos organizadores gráficos, particularmente en la estructura, la jerarquización de conceptos y la calidad de los enlaces proposicionales, lo que permitió constatar una comprensión más clara del carácter temporal de las variables del tiempo atmosférico y de los patrones prolongados que definen el clima, así como la incorporación de sus principales características.

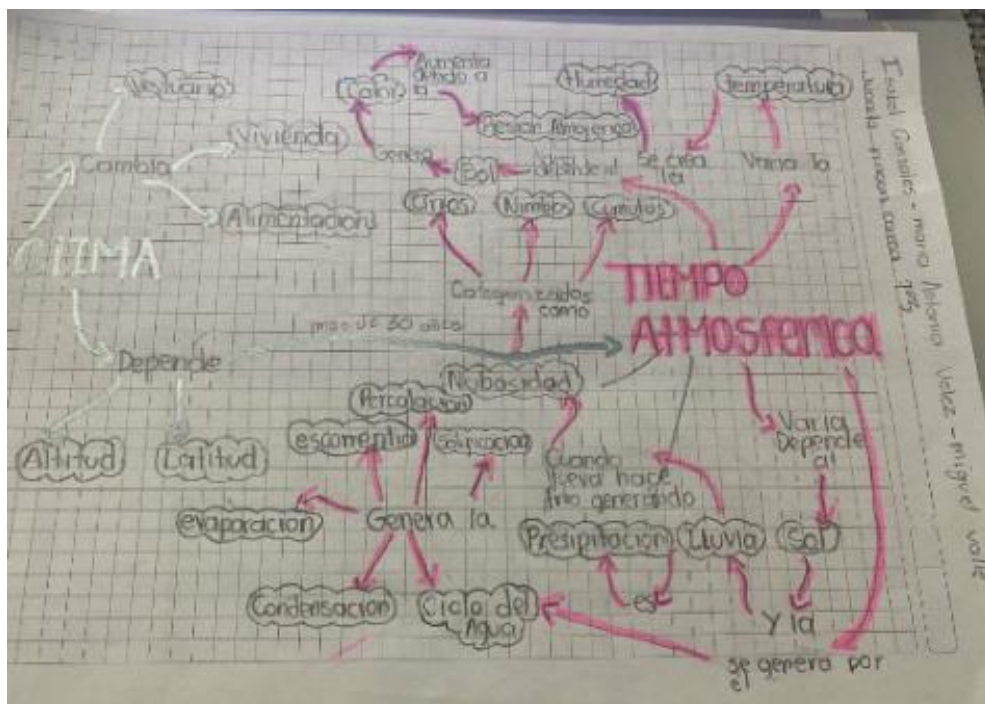
Figura 28.

Mapas conceptuales: diferencias entre TA y clima (Lopera Pérez & Bolívar, 2018)

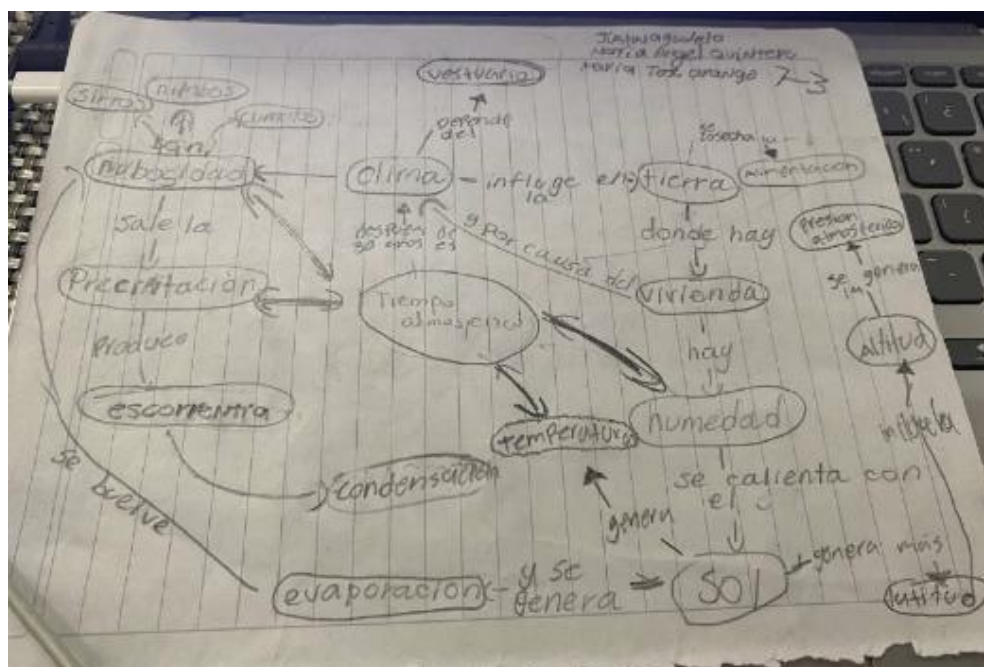
E1



E2



E3



E6



La diferenciación entre los conceptos de tiempo atmosférico y clima evidenciada en los estudiantes se fortaleció al triangular las producciones obtenidas durante la implementación de la UEPS. Estudios como el de Cartwright et al. (2021) muestran que los estudiantes de nivel secundario suelen presentar confusiones persistentes entre fenómenos meteorológicos de corto plazo y patrones climáticos de largo plazo, dificultad que solo se supera mediante experiencias educativas que promuevan la reflexión conceptual y el análisis temporal de los fenómenos atmosféricos. De manera similar, Sanchis Gual et al. (2018) identifica que las creencias erróneas sobre tiempo, clima y cambio climático están fuertemente asociadas a una comprensión fragmentada del sistema climático.

En coherencia con estos hallazgos, las actividades desarrolladas desde los principios de interacción y cuestionamiento permitieron exteriorizar y problematizar dichas concepciones iniciales, mientras que las actividades de percepción–representación favorecieron la construcción de esquemas y representaciones que hicieron visible la diferencia entre variabilidad diaria y patrones climáticos prolongados. Asimismo, las actividades orientadas por el principio de conocimiento como lenguaje posibilitaron que los estudiantes expresaran esta diferenciación mediante explicaciones orales y escritas progresivamente más precisas.

Estos resultados se articulan con la necesidad, señalada por diversos autores, de introducir el pensamiento sistémico en la alfabetización climática, dado que la comprensión de la relación entre tiempo atmosférico y clima constituye un punto de partida esencial para interpretar la dinámica del sistema climático y fundamentar acciones de mitigación y adaptación (Roychoudhury et al., 2017)

4.3.2.3 Diferenciación progresiva: ¿para qué y cómo se calienta la tierra?

El tercer paso de la UEPS corresponde a la diferenciación progresiva. En esta etapa se buscó avanzar desde conceptos generales e inclusivos, tales como el efecto invernadero y los gases de efecto invernadero (GEI), hacia procesos más específicos, como el ciclo natural del carbono y el papel de la fotosíntesis en la regulación climática. Esta estructura responde a lo planteado por Moreira (2012), quien señala que la diferenciación progresiva implica presentar inicialmente visiones generales del contenido para luego profundizar mediante

ejemplos, situaciones problema y actividades colaborativas que permitan reorganizar y complejizar los significados.

Los resultados iniciales del diagnóstico mostraron que los estudiantes desconocían el mecanismo de acción del efecto invernadero y no reconocían su importancia para la vida, tal como también lo reportan García-Rodeja y Lima (2012) y García-Vinuesa et al. (2022). Asimismo, presentaban confusión entre CO₂, GEI, calentamiento global y capa de ozono, una dificultad ampliamente documentada en estudios previos (Ladrera & Robredo, 2022; Varela et al., 2020). En el ciclo del carbono, reconocían la fotosíntesis y la respiración, pero no eran capaces de vincularlas con el equilibrio climático (Roychoudhury et al., 2017; You et al., 2021). Estos hallazgos iniciales orientaron la necesidad de una diferenciación progresiva que permitiera superar estas concepciones alternativas.

Las actividades desarrolladas para construir estos conceptos facilitaron una comprensión progresiva del efecto invernadero y de los GEI como mecanismos que regulan la temperatura del planeta. La primera actividad, basada en la analogía Ricitos de Oro—zona habitable, estimuló la curiosidad de los estudiantes y promovió preguntas de nivel alto y medio y de carácter explicativo, predictivo y asociativo, evidenciando avances en su razonamiento (Tabla 35).

Tabla 35.

Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el principio de Ricitos de oro y la zona habitable

Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación (López Ríos et al., 2014)	Clasificación (Sanjosé & Torres, 2014)
E1	¿Qué pasaría si en vez de vivir en la tierra vivimos en venus?	Alta	Predictiva
E2	¿Qué gases o condiciones hacen falta para hacer habitables los planetas?	Media	Asociativa
E3	¿Por qué el planeta tierra tiene los elementos perfectos para la vida?	Alta	Explicativa
E 6	De acuerdo con la información, ¿Venus es un planeta habitable?	Media	Explicativa

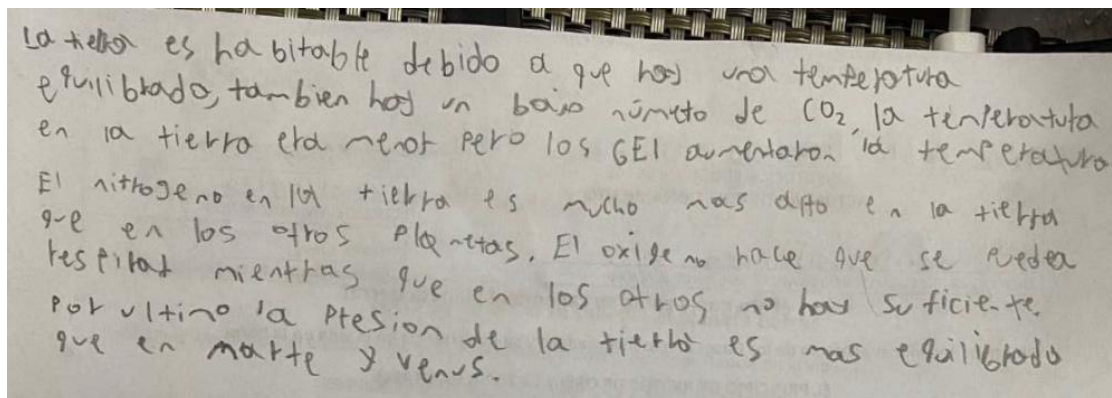
La segunda actividad, centrada en el análisis de información científica sobre Venus, Tierra y Marte, permitió transformar estas preguntas en explicaciones fundamentadas y reconocer que la habitabilidad de la Tierra depende de condiciones como temperatura

adecuada, presión atmosférica óptima, presencia de agua y una proporción equilibrada de GEI (Figura 29).

Figura 29.

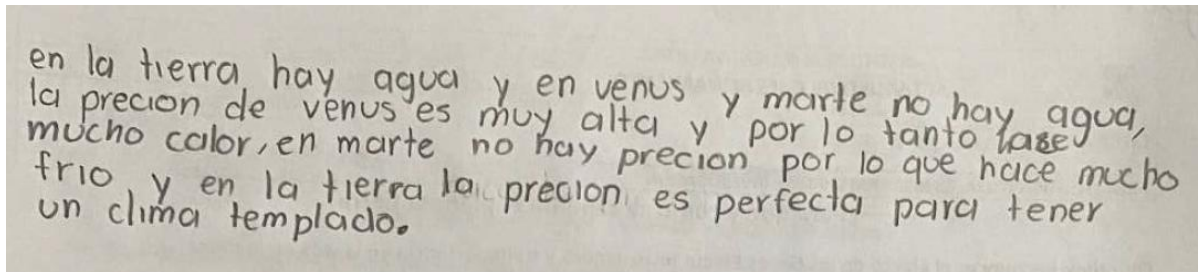
Elementos identificados por los estudiantes como necesarios para la vida en un planeta

E1



La tierra es habitable debido a que hay una temperatura equilibrada, también hay un bajo número de CO_2 , la temperatura en la tierra es menor pero los GEI aumentan la temperatura. El nitrógeno en la tierra es mucho más alto que en la tierra que en los otros planetas. El oxígeno hace que se pueda respirar mientras que en los otros no hay suficiente. Por último la presión de la tierra es más equilibrada que en Marte y Venus.

E2



en la tierra hay agua y en Venus y Marte no hay agua, la presión de Venus es muy alta y por lo tanto hace mucho calor, en Marte no hay presión por lo que hace mucho frío y en la tierra la presión es perfecta para tener un clima templado.

Los estudiantes establecieron una base conceptual sólida sobre la relación entre la radiación solar, el efecto invernadero natural y la composición de los gases de efecto invernadero que permiten mantener condiciones habitables en el planeta. En conjunto, las actividades desarrolladas favorecieron la comprensión de los mecanismos que regulan el clima y de la importancia de actuar frente a sus alteraciones. Este avance es coherente con investigaciones que evidencian que los estudiantes transitan desde explicaciones centradas en fenómenos visibles hacia comprensiones más sistémicas del cambio climático, cuando logran integrar el papel del Sol, los GEI y el balance energético del sistema Tierra (IPCC, 2021b; Nicholson, 2005; Stevenson et al., 2017; Varela et al., 2020).

Entre los GEI, se hizo énfasis en el CO₂. Con el cuestionamiento del video comercial “*algunos lo llaman contaminación, nosotros lo llamamos vida*”, los estudiantes lograron movilizar concepciones múltiples, naturales, tecnocientíficas y sociales, acerca del CO₂, lo que permitió reconstruir y problematizar sus ideas. Los resultados muestran que los estudiantes están iniciando una comprensión del ciclo natural del carbono, reconociendo al CO₂ como un componente necesario para la vida, cuya distribución y función forman parte del equilibrio de los sistemas del planeta (Tabla 36). Esta comprensión constituye la base para avanzar hacia la explicación del ciclo del carbono y, más adelante, hacia la diferenciación entre los procesos naturales y las alteraciones derivadas de actividades humanas.

Tabla 36.

Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el balance del CO₂ en los sistemas naturales

Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación López Ríos et al., (2014)	Clasificación Sanjosé y Torres, (2014)
E1	¿Qué pasaría si el CO ₂ no llegara a los océanos, la tierra, nosotros los humanos?	Alta	Predictiva
E2	¿si el CO ₂ fuera "contaminante" como lo eliminarían si está en el aire y constantemente lo exhalamos?	Alta	Explicativa
E3	¿Qué fue lo que hizo que el CO ₂ fuera etiquetado para la sociedad como malo?	Media	Explicativa
E6	¿hay algo que pueda reemplazar al CO ₂ ?	Alta	Predictiva

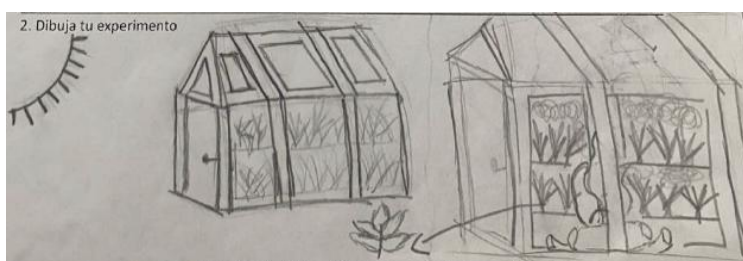
La actividad de percepción–representación, centrada en el diseño de un experimento hipotético sobre “*las plantas capturan CO₂*”, posibilitó la transición desde concepciones declarativas hacia la construcción de modelos explicativos sobre los intercambios entre atmósfera y biósfera. Los estudiantes reinterpretaron la afirmación de manera activa, integrando sus ideas iniciales con posibles mecanismos ecológicos (Figura 30). En todos los casos relacionaron a las plantas, al CO₂ y la temperatura, dibujando un invernadero o termómetro como indicativo de medición de temperatura en los montajes que propusieron.

La construcción de representaciones y modelos sobre el ciclo del carbono permitió a los estudiantes avanzar en la comprensión de procesos no observables y en la diferenciación entre reservorios y flujos. Este tipo de actividades resulta clave para apoyar el razonamiento sobre sistemas complejos, tal como lo señalan Covitt et al. (2021), al evidenciar que la modelación favorece explicaciones más coherentes de los ciclos biogeoquímicos.

Figura 30.

Percepción-representación de la afirmación “las plantas capturan CO_2 ”

E1



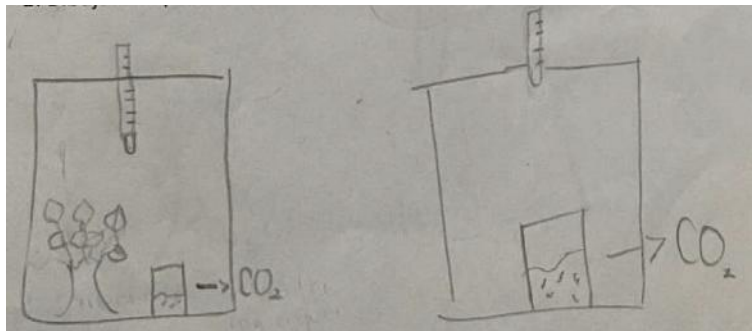
E2



E3



E6



La comprensión del rol de la vegetación como componente activo del ciclo del carbono constituye un aspecto central para interpretar las interacciones entre el CO_2 atmosférico y los sistemas vivos. En este sentido, la actividad propuesta preparó a los estudiantes para una experiencia más cercana, orientada a comprender los procesos de absorción de carbono por la biomasa vegetal. Mediante el principio de conocimiento como lenguaje, los estudiantes realizaron una caracterización de las plantas del humedal El Triánón desde un enfoque de captura de CO_2 (Figura 31), favoreciendo el razonamiento sobre flujos y reservorios del carbono. Este tipo de aproximaciones ha sido identificado como clave para apoyar el desarrollo del razonamiento basado en modelos sobre el ciclo del carbono en contextos educativos (You et al., 2021; Zangori et al., 2017), en coherencia con la comprensión científica del papel regulador de la vegetación en el balance global del carbono (Canadell et al., 2021; Ciais et al., 2013; IPCC, 2021b)

Figura 31.

Establecimiento de marcación de parcelas, muestreo y toma de datos.





Al relacionar sus mediciones empíricas con funciones ecológicas concretas, lograron argumentar qué especies podrían capturar (visualmente) más CO₂ y por qué. Esta actividad permitió vincular el ciclo del carbono con un ecosistema local y fortalecer la comprensión del papel regulador de las plantas (Tabla 37), en consonancia con lo señalado por Roychoudhury et al. (2017) respecto a la importancia de conectar fotosíntesis y respiración con el equilibrio climático.

Tabla 37.

Plantas seleccionadas por captura y fijación del CO₂

Equipos	Plantas seleccionadas	Razones para su selección
1	Manto rojo, helecho Waititi	<i>“porque tienen muchas hojas y tallos, para capturarlo y mantenerlo”</i>
2	Palmillo, manto rojo y abanico chino	<i>“por el tamaño de sus hojas y frecuencia”</i> <i>“están adaptados a la zona”</i>
3	El mamey agave oscuro, el guayabo	<i>“son las hojas anchas y largas”</i>
6	Sphaeropeteris cooper, el guayabo	<i>“son más grandes y viven demasiado, 500 años”</i>

En conjunto, las actividades desarrolladas permitieron avanzar desde concepciones iniciales amplias y poco estructuradas hacia explicaciones más integradas y fundamentadas. Los estudiantes comenzaron a diferenciar las funciones de los gases de efecto invernadero, a reconocer el efecto invernadero como un proceso natural regulador y a comprender el papel del CO₂ en la fotosíntesis y el ciclo del carbono. La progresión observada evidencia que fueron capaces de reorganizar sus ideas, integrando perspectivas atmosféricas, ecológicas y locales, en coherencia con las progresiones conceptuales descritas en la literatura sobre educación en cambio climático y razonamiento basado en modelos, particularmente en relación con la comprensión de sistemas complejos como el ciclo del carbono (Varela et al., 2020; You et al., 2021; Zangori et al., 2017).

4.3.2.4 Reconciliación integradora: ¿Por qué incrementa el calor de la tierra?

El cuarto paso de la UEPS corresponde al momento en que, conforme a lo planteado por Moreira (2012), se retoman los conceptos esenciales del contenido, se presentan

nuevamente con mayor complejidad y se favorece la reorganización del significado mediante la comparación, el contraste y la articulación entre conocimientos previos y nuevos. Para ello se desarrollaron tres actividades orientadoras: la interpretación de la imagen “*El clima está loco*”, el análisis de la distribución global del CO₂ y el cálculo de la huella de carbono local. Las tres fueron diseñadas para promover procesos de reconciliación integradora a través de los principios del ASC: cuestionamiento, percepción–representación y conocimiento como lenguaje.

En esta fase se retomaron conceptos trabajados previamente: tiempo atmosférico, clima, causas antropogénicas y consecuencias del cambio climático, abordados ahora desde una perspectiva más compleja que articuló los niveles conceptual, global y cotidiano. Este proceso permitió que los estudiantes avanzaran en la comprensión de las causas humanas del incremento de CO₂ y de sus efectos en el clima, en concordancia con lo planteado por Navarro et al. (2020), quienes señalan que la comprensión del cambio climático se fortalece cuando se integran simultáneamente escalas personales, territoriales y globales.

A partir de la imagen inicial, las preguntas formuladas mostraron que los estudiantes reconocen la participación humana en el aumento del calor en la Tierra (Tabla 38). El predominio de preguntas explicativas y de nivel alto indica que comenzaron a relacionar causas, consecuencias e intencionalidades humanas, un paso clave hacia la comprensión de la problemática climática.

Tabla 38.

Preguntas formuladas por los estudiantes sobre la imagen “el clima está loco”

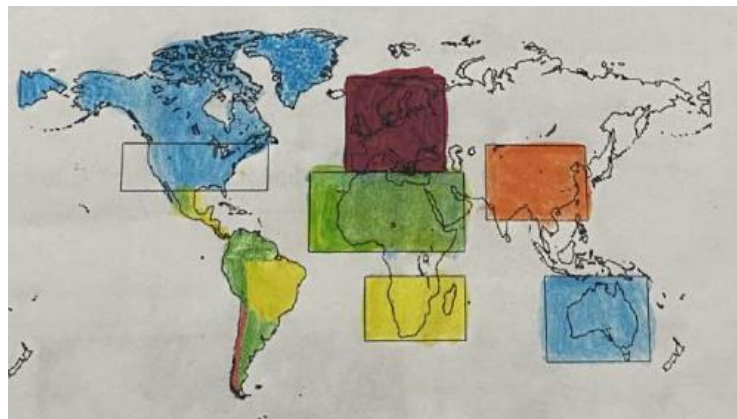
Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación López Ríos et al. (2014)	Clasificación Sanjosé y Torres, (2014)
E1	¿Qué pasaría si la contaminación sigue aumentando?	Media	Predictiva
E2	¿Por qué las personas que talan los árboles no se dan cuenta de las consecuencias que conlleva?	Alta	Explicativa
E3	¿Por qué hay personas que prefieren no ver lo que pasa respecto al cambio climático?	Alta	Explicativa
E6	¿Si necesitamos fábricas en nuestras vidas, pero dañan mucho el medio ambiente, que solución podemos buscar?	Alta	Explicativa

Este tipo de razonamiento causal y contextualizado ha sido reportado en estudios de educación climática que abordan situaciones problemáticas integrando factores sociales y ambientales (García-Vinuesa et al., 2022; Agosta Scarel & Cuetos Revuelta, 2023). La actividad permitió, además, retomar ideas iniciales expresadas en la fase de conocimientos previos y reorganizarlas, cumpliendo así la función central de este paso de la UEPS. Finalmente, la actividad de percepción–representación sobre la distribución global de CO₂ permitió identificar cómo los estudiantes integraron sus percepciones previas, interpretaron mapas y construyeron explicaciones sobre la desigualdad en las emisiones entre distintas regiones del mundo (Figura 32).

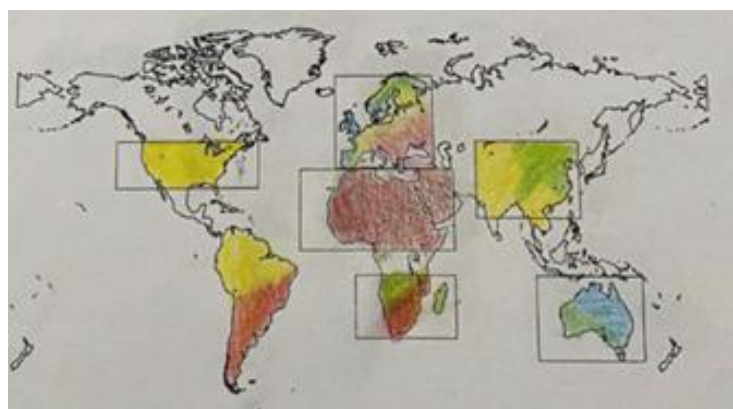
Figura 32.

Distribución de CO₂ desde la perspectiva de los estudiantes (rojo, alta; amarillo-verde intermedia y azul, bajas emisiones)

E1



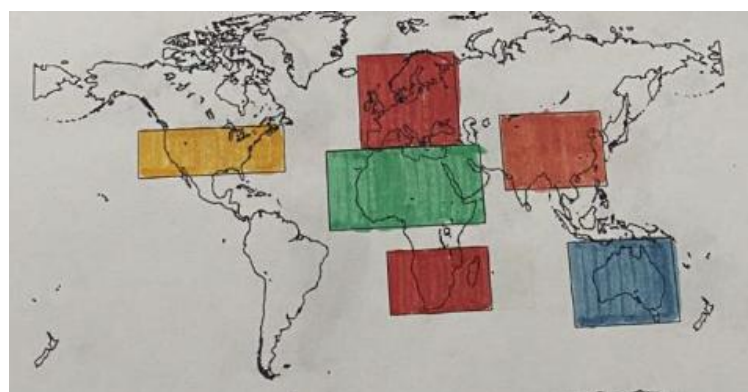
E2



E3



E6



Aunque todos los equipos lograron colorear el mapa y justificar sus elecciones, se observaron diferencias marcadas en la capacidad de interpretar la información geográfica, económica y ambiental implicada. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Siegner (2018), quien señala que la lectura crítica de mapas y datos climáticos constituye un medio para favorecer la comprensión sistémica del cambio climático, aunque en etapas iniciales los estudiantes suelen apoyarse en intuiciones más que en relaciones científicas consolidadas.

Sin embargo, a medida que se implementaron las actividades propuestas, los estudiantes avanzaron hacia explicaciones más integradas (Figura 33). En particular, lograron relacionar las emisiones con procesos de industrialización, transporte y deforestación; identificar zonas de absorción natural; explicar desigualdades en la distribución global de emisiones; y articular factores económicos, sociales y ecológicos.

Figura 33.*Percepciones de emisiones de CO₂ en varios países del mundo*

Estados Unidos: Por que hace mucho frio x ha muchas industrias x disminuye el dióxido de carbono.

España: Por que es uno de los países mas poblados del mundo

India: no tiene tanta dióxido de carbono. Porque ha demasiada población y muchas zonas verdes

Australia: Porque tiene selvas x las plantas absorben el dióxido de carbono.

Asia: el CO₂ está "equilibrado" Porque hay mucha población, zonas verdes

África: el CO₂ está un poco bajo ya que en África ha desierto y no ha muchas plantas, árboles, etc.

América del sur: El CO₂ es un poco bajo ya que tiene muchas fabricas pero tambien zonas verdes

América del sur está en naranja debido a sus fabricas, deforestación, gran población y contaminación

Europa está en un azul verdoso debido a su buena gestión con las industrias y su buena intervención sobre la contaminación.

África del norte está en color esmeralda debido a la minería y por la poca importancia del medio ambiente

África del sur está en azul verdoso claro debido a la tala de árboles y contaminación por minería.

Asia está en rojo debido a su mala gestión en las industrias, poca cultura medioambiental y su sobre población.

Oceania está en azul claro debido a sus pocas industrias y su buena cultura en el medio ambiente

De acuerdo con Covitt et al. (2021), el uso de representaciones y modelos resulta fundamental para apoyar el razonamiento de los estudiantes sobre procesos complejos del ciclo del carbono, en particular aquellos que implican relaciones entre reservorios y flujos no directamente observables. En este sentido, la actividad permitió identificar los territorios con

mayores emisiones y los factores asociados a ellas, como la industrialización, el uso de combustibles fósiles o la deforestación.

Aunque surgieron ideas alternativas, los estudiantes lograron reconocer la existencia de desigualdades globales en la producción de CO₂ y comprender que las acciones humanas modifican el flujo natural del carbono. Este razonamiento multinivel es consistente con lo descrito por Canaza-Choque et al. (2021), quienes resaltan que las concepciones sobre el cambio climático se fortalecen cuando se comparan escalas globales, territoriales y personales, favoreciendo una comprensión integrada del fenómeno.

El cálculo de la huella de carbono familiar vinculó estos conceptos a la vida cotidiana, mostrando que el consumo, la movilidad y los hábitos domésticos también contribuyen a las emisiones. La mayoría de los estudiantes se clasificó como *consumidores del clima*, lo que evidencia prácticas de alto impacto asociadas al contexto urbano de Envigado (Tabla 39). Este análisis permitió que los estudiantes reconocieran su propia participación en la problemática y visualizaran posibilidades de mitigación.

Tabla 39.

Clasificación de emisiones de huella de carbono en los hogares

Equipo	Estudiantes	Clasificación	Mayor emisión
E1	Estudiante 1	Amigo del clima	Control de energía
	Estudiante 2	Amigo del clima	Reciclaje
	Estudiante 3	Consumidores del clima	Uber
	Estudiante 4	Consumidores del clima	Hogar de paso
E2	Estudiante 1	Amigo del clima	Hay pacas biodigestoras en la unidad
	Estudiante 2	Amigo del clima	Uso de transporte alternativo
	Estudiante 3	Consumidores del clima	Viajes
	Estudiante 4	Consumidores del clima	No separan residuos
E3	Estudiante 1	Amigo del clima	Reciclaje
	Estudiante 2	Amigo del clima	Separamos botellas
	Estudiante 3	Consumidores del clima	Viajes, no reciclamos
	Estudiante 4	Amigo del clima	Control del agua
E6	Estudiante 1	Villanos del clima	Viajes
	Estudiante 2	Villanos del clima	Electricidad (mi abuela duerme con la luz prendida)
	Estudiante 3	Villanos del clima	No hacemos ninguna actividad

En conjunto, estas actividades evidencian que los estudiantes lograron articular tres niveles de análisis: global, territorial y familiar, para construir una visión más completa del fenómeno. Integraron conocimientos científicos, sociales y experienciales para comprender cómo las actividades humanas alteran el ciclo del carbono y contribuyen al aumento de las emisiones de CO₂. Esta integración conceptual y contextual habilitó a los estudiantes para plantear propuestas de mitigación y adaptación, cerrando la fase con una comprensión articulada del problema y de sus posibilidades de acción. Este proceso es consistente con enfoques de educación climática orientados al desarrollo de la agencia estudiantil, como la estrategia *Do One Thing* (DOT), que promueve la toma de decisiones informadas y acciones concretas frente al cambio climático a partir de la conexión entre conocimiento, contexto y acción (Muller & Wood, 2021).

4.3.2.5 Consolidación: Consecuencias del cambio climático

El quinto paso de la UEPS corresponde al momento en el que, según Moreira (2012), se retoman las ideas generales del contenido y se reorganizan en un nivel de complejidad mayor, permitiendo la integración de los conceptos previamente diferenciados. En esta fase, los estudiantes comparan, contrastan y articulan sus comprensiones iniciales con explicaciones más robustas, favoreciendo la reconciliación integradora y el refinamiento conceptual. Para ello, se desarrollaron tres actividades orientadoras: el cuestionamiento a partir de la imagen “El puesto de pesca de Anuk”, las actividades experimentales sobre tipos de criósfera y efecto albedo, y el análisis del caso Tuvalu, cada una movilizandolos principios del ASC: cuestionamiento, percepción–representación y conocimiento como lenguaje.

La fase de consolidación de la UEPS integró tres actividades complementarias que permitieron a los estudiantes profundizar en la comprensión de las consecuencias del cambio climático, articulando procesos físicos de la criósfera, retroalimentaciones del sistema climático y afectaciones socio-territoriales concretas. Esta secuencia favoreció el tránsito desde la observación de cambios locales en el hielo hasta la interpretación de impactos globales, promoviendo un pensamiento sistémico y causal acorde con los objetivos de alfabetización climática (Roychoudhury et al., 2017).

La primera actividad, basada en cuestionamiento, utilizó la imagen “El puesto de pesca de Anuk, el esquimal” para movilizar las ideas previas de los estudiantes y situarlos frente al problema del deshielo acelerado. Las preguntas generadas evidenciaron que reconocen intencionalmente el componente humano del problema, identificando la contaminación, las emisiones de CO₂ y la deforestación como factores que amplifican el calentamiento global y ponen en riesgo la vida en la Tierra. El predominio de preguntas predictivas y explicativas reveló que los estudiantes logran anticipar consecuencias futuras, relacionar el deshielo con impactos ecosistémicos y proyectar escenarios de pérdida de hábitats y alteración climática, mostrando avances en el razonamiento causal (Tabla 40).

Tabla 40.

Preguntas formuladas por los estudiantes con base en la imagen Anuk, el esquimal

Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación López Ríos et al., (2014)	Clasificación Sanjosé y Torres (2014)
E1	¿Qué pasaría en el mundo si los glaciares desaparecieran de repente?	Alta	Predictiva
E2	¿Por qué la contaminación llega a los polos si no hay ni industrias ni carros?	Alta	Explicativa
E3	¿Cómo afecta el deshielo de los polos al mismo lugar donde habitan y a los otros lugares del mundo?	Alta	Explicativa
E6	¿Es posible que por la deforestación hayamos llegado a este extremo?	Alta	Explicativa

La segunda actividad, fundamentada en el principio de conocimiento como lenguaje, permitió que los estudiantes modelaran de manera hipotética el comportamiento del glaciar, el manto de hielo (*ice sheet*) y la banquisa, relacionándolos con el efecto albedo. A partir de la experimentación demostrativa, lograron identificar diferencias entre los tipos de hielo y comprender que es el hielo terrestre, y no el hielo flotante, el que contribuye al aumento del nivel del mar al derretirse (Tabla 41). Este resultado coincide con lo planteado por Carrascosa Alis (2022), quien documenta que las ideas alternativas sobre la contribución de la fusión del hielo al aumento del nivel del mar pueden ser transformadas mediante propuestas didácticas basadas en la modelización y el contraste experimental.

Tabla 41.

Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿Qué tipo de hielo derretido es más perjudicial para el nivel del mar?

Equipos	Respuestas
E1	<i>“el glaciar, esto debido a que al derretirse el nivel del mar aumenta debido a que el glaciar tendría más agua”.</i>
E2	<i>“glaciar: porque aumenta el nivel del mar. Se derrite y aumenta el nivel del mar y genera inundaciones”</i>
E3	<i>“Para nosotros es el Ice Sheet (manto de hielo) debido a que cubre gran parte de la superficie terrestre”</i>
E6	<i>“permafrost porque está debajo, en la tierra, así que aumentaría el CO₂ acumulado si se derrite”</i>

Además, reconocieron el efecto albedo en el que el color claro del hielo refleja la radiación solar y ayuda a regular la temperatura global, mientras que su pérdida incrementa la absorción de calor y acelera el calentamiento. Esta actividad permitió consolidar la comprensión de retroalimentaciones climáticas y de la función reguladora del hielo en el sistema Tierra, aun cuando persistieron algunas concepciones alternativas esperables para este nivel escolar (Tabla 42).

Tabla 42.

Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿por qué el color del hielo ayuda a regular el clima?

Equipos	Respuestas
E1	<i>“el hielo al ser un color claro no absorbe el calor, sino por lo que ayude a evitar que el calor se absorba en un punto y por la tierra”</i>
E2	<i>“porque como es un color claro no retiene y atrapa el calor que refleja”</i>
E3	<i>“porque el color blanco refleja la luz no la absorbe”</i>
E6	<i>“porque ayuda a mantener la temperatura gracias a que su color la refleja no la absorbe”</i>

Estas respuestas reflejan un avance conceptual significativo, dado que el reconocimiento del albedo como regulador térmico resulta fundamental para comprender por qué el derretimiento de la criósfera contribuye a acelerar el calentamiento global. La coherencia entre la percepción física (“el blanco refleja”) y su consecuencia climática (“ayuda a mantener la temperatura”) constituye evidencia de consolidación conceptual en esta fase de la UEPS.

Este avance resulta relevante si se considera que diversos estudios reportan dificultades persistentes en los estudiantes para vincular propiedades ópticas de las superficies, como el color o la reflexión, con su papel en la regulación térmica global (Morote & Olcina, 2021b; Sánchez Almodóvar et al., 2023). En este sentido, la progresión observada es consistente con investigaciones que señalan que la comprensión del efecto albedo favorece explicaciones más integradas de los procesos de retroalimentación entre pérdida de hielo y aumento de temperatura (Cartwright et al., 2021).

Los resultados evidencian que la actividad contribuyó a consolidar el albedo como un mecanismo clave dentro del sistema climático, aunque aún persisten dificultades en la explicitación causal completa del proceso. No obstante, los estudiantes lograron establecer la conexión general entre pérdida de hielo y aumento térmico, lo que constituye un avance conceptual en la comprensión de la criósfera y sus retroalimentaciones (Tabla 43). Resultados similares han sido reportados en estudios que muestran mejoras en la comprensión de las consecuencias del derretimiento del hielo cuando los estudiantes trabajan con modelos sencillos de retroalimentación albedo–temperatura (Stevenson et al., 2017), así como cuando se abordan explícitamente procesos de la criósfera para conectar fenómenos locales con implicaciones globales como el aumento del nivel del mar (Fuentes et al., 2020).

Tabla 43.
Expresiones de los estudiantes ante la pregunta ¿Cuáles son las consecuencias del derretimiento del hielo (con respecto al albedo) en la superficie terrestre?

Equipos	Respuestas
E1	<i>“sí se pierde el hielo, el calor de la tierra tendría un gran aumento esto debido a que el hielo no absorbe el calor de un punto fijo, sino que vaya por toda la tierra”</i>
E2	<i>“que no se reflejaría el sol y el hielo se derretiría más rápido y se aumentaría el nivel del mar y no habría regulación del clima”</i>
E3	<i>“más calor que va a haber porque no hay nada que refleje”</i>
E6	<i>“aumentaría el calor porque el hielo es el que regula la temperatura”</i>

Con estas actividades, los estudiantes lograron integrar conceptos abordados previamente, GEI, CO₂, temperatura, deforestación, mostrando que la consolidación implica también un refinamiento de las conexiones conceptuales.

El caso Tuvalu.

La tercera actividad, orientada al uso del conocimiento como lenguaje, integró la información obtenida mediante el análisis del artículo sobre Tuvalu, permitiendo que los estudiantes establecieran conexiones entre el deshielo en latitudes altas y sus repercusiones socioambientales en territorios vulnerables. Las respuestas evidenciaron que los estudiantes lograron identificar el aumento del nivel del mar como consecuencia del calentamiento global y reconocer sus impactos en la vivienda, el territorio, la seguridad alimentaria y los modos de vida.

Las preguntas formuladas en torno al caso mostraron un razonamiento más complejo que en etapas previas, con predominio de interrogantes de tipo explicativo y predictivo (Tabla 44). Este tipo de razonamiento se alinea con enfoques de educación climática que destacan el valor del análisis de casos reales para favorecer la integración de escalas globales y locales del cambio climático y el desarrollo de comprensiones situadas del fenómeno (Korsager & Slotta, 2015). Asimismo, la articulación entre conocimiento científico, contexto y consecuencias sociales observada en las respuestas de los estudiantes es consistente con propuestas de educación climática orientadas al fortalecimiento de la agencia estudiantil, como la estrategia Do One Thing (DOT), que promueve la transición desde la comprensión hacia la acción frente al cambio climático (Muller & Wood, 2021)

Tabla 44.

Preguntas formuladas por los estudiantes sobre el caso Tuvalu.

Equipo	Preguntas formuladas	Clasificación López Ríos et al., (2014)	Clasificación Sanjosé y Torres, (2014)
E1	¿Por qué en Tuvalu aumenta el nivel del mar?	Alto	Explicativa
E2	¿cuánto mide la isla Tuvalu como para que el agua la esté tapando?	Bajo	Asociativa
E3	¿Por qué subió el calentamiento global en tan poco tiempo?	Alto	Explicativa
E6	¿cómo está empezando a sobrevivir Tuvalu?	Alto	Explicativa

Este tipo de trabajo con casos reales de islas del Pacífico se alinea con lo señalado por Bello Benavides et al. (2021) y González Gaudiano y Meira Cartea (2020), quienes destacan el valor didáctico de los contextos de alta vulnerabilidad para promover una comprensión crítica de la injusticia climática y de los impactos desproporcionados del cambio climático sobre comunidades que contribuyen mínimamente a las emisiones. En esta misma línea, estudios en educación climática muestran que el análisis de casos reales y contextualizados favorece la integración de dimensiones físicas, sociales y éticas del cambio climático en educación secundaria (Stevenson et al., 2017).

Las respuestas de los estudiantes evidenciaron diversidad en el grado de consolidación conceptual. Mientras algunos equipos lograron integrar de manera consistente causas, mecanismos y consecuencias del ascenso del nivel del mar, otros aún requieren fortalecer su comprensión de los procesos físicos implicados. No obstante, todos identificaron al cambio climático como origen del problema, lo cual constituye un indicador relevante de apropiación conceptual. Patrones similares han sido reportados en investigaciones que señalan que, al trabajar con comunidades vulnerables reales, los estudiantes tienden a integrar espontáneamente dimensiones ecológicas, económicas y sociales del fenómeno climático (Moser et al., 2021; Mostacedo-Marasovic et al., 2024).

Al explicar por qué ocurre el problema, los estudiantes articularon elementos asociados al deshielo de la criósfera, los desequilibrios térmicos y el aumento del nivel del mar. Aunque persisten concepciones alternativas, las respuestas evidenciaron avances en la capacidad de vincular procesos físicos, como el calentamiento global y la reducción del hielo polar, con consecuencias hidrológicas y sociales, en coherencia con los indicadores de progresión conceptual descritos en estudios sobre razonamiento sistémico en educación climática (Covitt et al., 2021; Zangori et al., 2017).

En términos pedagógicos, el caso de Tuvalu permitió integrar tres niveles de comprensión: (1) físico–natural, asociado a la dinámica del hielo y la regulación térmica; (2) sistémico–climático, relacionado con la retroalimentación albedo–temperatura y el ascenso del nivel del mar; y (3) socioambiental, vinculado a los impactos diferenciales en territorios vulnerables. Esta articulación resulta central para el aprendizaje significativo crítico, al posibilitar que los estudiantes comprendan el cambio climático como un sistema

interconectado de procesos físicos y sociales y desarrollen una postura crítica frente a la problemática y a la necesidad urgente de mitigación.

4.3.2.6 Evaluación: ¿Cómo puedo mitigar los efectos del cambio climático?

La evaluación final de los aprendizajes se desarrolló mediante dos actividades orientadoras: (1) la formulación y exposición de propuestas de mitigación de CO₂ por equipos, y (2) la construcción de mapas conceptuales finales a partir de un conjunto común de conceptos clave. En conjunto, estas actividades permitieron valorar la comprensión integrada de los contenidos, la capacidad de aplicar lo aprendido en situaciones reales y la reestructuración conceptual alcanzada al final de la unidad, acorde a los postulados de Moreira (2012).

En la primera actividad, las exposiciones evidenciaron que los estudiantes lograron relacionar de forma argumentada los conceptos trabajados durante la UEPS, ciclo del carbono, efecto invernadero, fuentes de emisión, huella de carbono, reforestación, uso de energía, residuos, transporte, con acciones concretas de mitigación posibles en sus hogares.

El E1 plantea una estrategia de reducción de consumo eléctrico sustentada en datos observables del hogar, indicando que medirán el impacto: *“comparando los recibos de energía del primer mes con los del siguiente”*. Esta propuesta combina comprensión conceptual con procedimientos de evaluación, lo cual le otorga solidez. Stevenson et al. (2017) señalan que las propuestas de acción climática en contextos escolares se fortalecen cuando los estudiantes vinculan prácticas cotidianas con mediciones concretas, ya que ello favorece el desarrollo de la agencia y una toma de decisiones más informada.

El E2 integra acciones de reciclaje, compostaje y movilidad sostenible. Su propuesta de caminar más se fundamenta en el uso de datos numéricos como evidencia empírica: *“Un carro gasta más de 143 gramos de CO₂ y una moto más de 167 gramos; por cada persona que haga caminata, se dejaría de emitir esa cantidad”*. Este equipo se destaca por justificar la mitigación a partir de argumentos cuantitativos y prácticos.

Este tipo de razonamiento es coherente con enfoques de educación climática situada que destacan el valor de las prácticas individuales, como el reciclaje, la reducción del

transporte motorizado y el consumo responsable, para vincular los aprendizajes escolares con la vida cotidiana y favorecer la toma de decisiones informadas frente al cambio climático (Sóroña y García, 2020)

El E3 propone la compensación de emisiones mediante acciones de reforestación y la selección de especies adecuadas, explicando que *“las plantas atrapan el dióxido de carbono y hacen que disminuya en la atmósfera”*. Además, el equipo identifica especies apropiadas para la ciudad de Medellín, evidenciando una articulación entre el contexto local y el conocimiento científico.

Este tipo de propuestas se alinea con lo señalado por González Gaudiano y Meira Cartea (2020), quienes destacan que la reforestación y el fortalecimiento de los sumideros de carbono pueden constituir estrategias pedagógicas de mitigación en contextos escolares cuando se articulan con el territorio y con el reconocimiento de la biodiversidad local.

El E6 propone estrategias de reducción del consumo eléctrico mediante la desconexión de aparatos y el uso racional de la energía, justificando que *“aquí en Colombia la energía se hace con agua, lo que genera menor impacto ambiental que el uso de combustibles fósiles”*. Aunque la explicación es básica, evidencia una comprensión inicial del origen del recurso energético nacional y de su relación con la huella de carbono.

Este tipo de razonamiento se alinea con lo señalado por Cruz y Páramo (2020), quienes destacan que la comprensión del origen de la energía y de sus implicaciones socioambientales favorece la construcción de posturas críticas frente a los modelos de consumo energético

Los razonamientos causales expresados por los equipos evidencian que los estudiantes comprendieron la relación entre las actividades humanas y el aumento del CO₂, como se observa en expresiones tales como: *“Los combustibles fósiles los queman y al quemarlos sueltan dióxido de carbono, lo que hace que se caliente la Tierra”* (E1);

“Cuando queman plástico, el humo es el que más genera CO₂ y aumenta el calor de la Tierra” (E2);

“Los gases de efecto invernadero hacen que la temperatura suba, eso derrite los polos y el nivel del mar aumenta” (E3). Asimismo, reconocieron la función reguladora de la vegetación: *“Las plantas atrapan el dióxido de carbono y hacen que disminuya en la atmósfera”* (E3)

y la importancia de la eficiencia energética: *“La producción de energía aumenta las emisiones de CO₂ al medio ambiente”* (E6).

Este tipo de explicación causal constituye una competencia central en las ciencias ambientales, tal como lo señalan Driver et al. (1996) y el National Research Council (NRC, 2012).

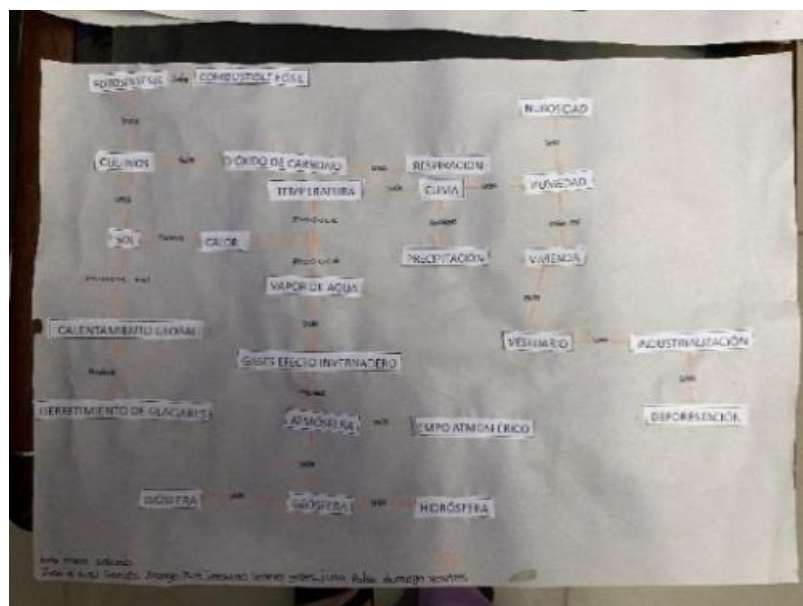
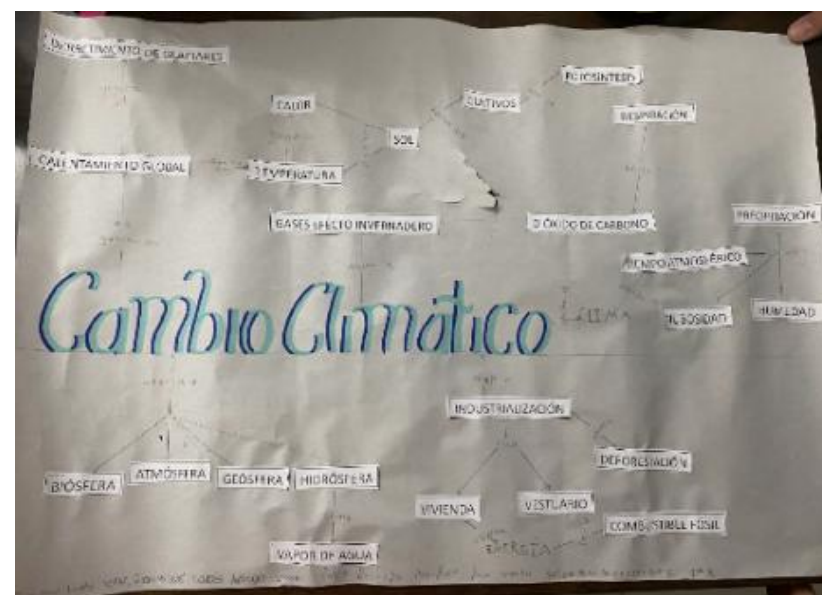
Además, los estudiantes justificaron sus propuestas a partir de ejemplos de la vida cotidiana, lo que evidencia avances en la capacidad de tomar decisiones informadas frente al cambio climático. Esta actividad permitió identificar no solo conocimientos declarativos, sino también actitudes, valores ambientales y competencias para la acción, en coherencia con la perspectiva crítica de la UEPS y con lo reportado por Calisaya et al. (2023), quienes destacan que la educación para el cambio climático desde un enfoque crítico debe movilizar valores, agencia y decisiones contextualizadas.

La segunda actividad con los mapas conceptuales finales, permitió valorar la reorganización de los conocimientos adquiridos. En comparación con los mapas iniciales, los finales muestran una mayor jerarquización de conceptos, proposiciones más completas y mejor fundamentadas, y una integración más amplia de los contenidos trabajados (Tabla 45).

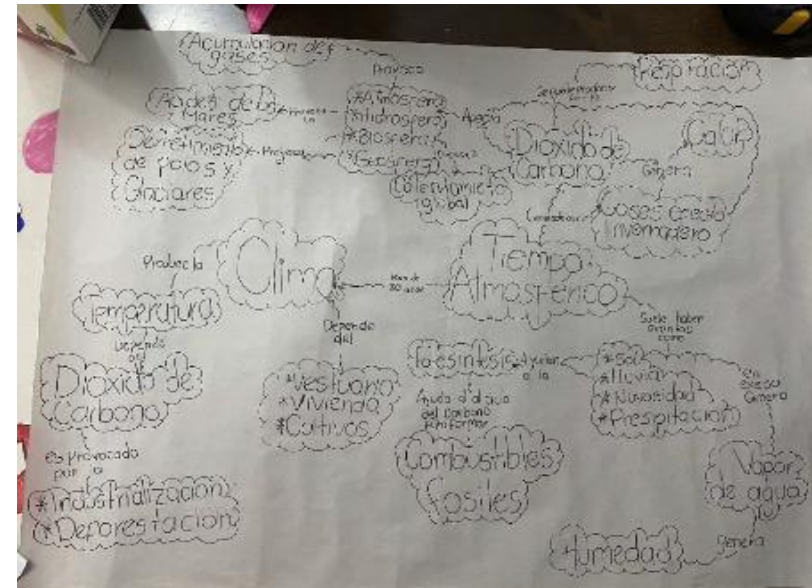
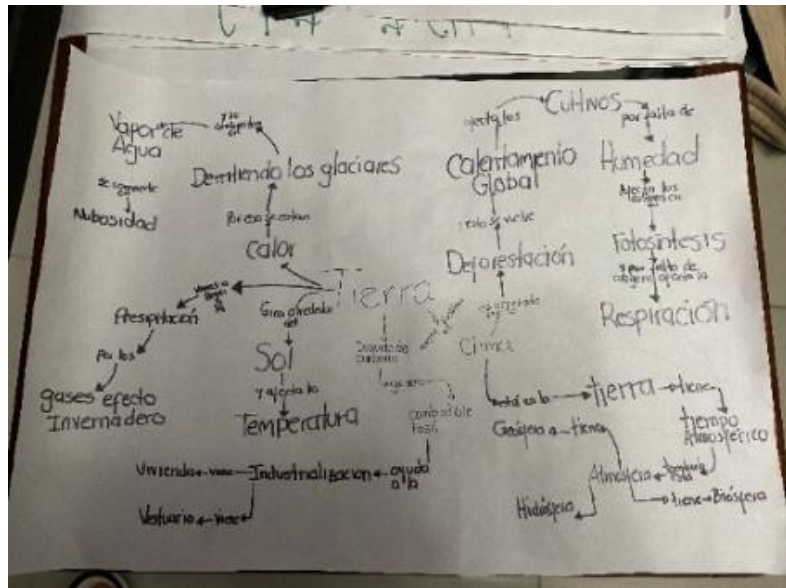
Lopera Pérez y Bolívar (2018) destacan que estos tres elementos (jerarquía, proposiciones, integración) son indicadores de calidad en mapas conceptuales. El hecho de que tres equipos eligieran cambio climático como palabra raíz sugiere que reconocen este fenómeno como eje articulador de todo lo aprendido. Los mapas también reflejan la incorporación de procesos clave como el efecto albedo, la movilización del CO₂, la criósfera, las consecuencias del calentamiento y las acciones de mitigación, lo que evidencia una comprensión sistémica más sólida. Zangori et al. (2019) relacionan este tipo de integración multiescalar con el desarrollo de pensamiento sistémico climático. Esta evaluación permitió identificar la evolución conceptual de cada equipo y la aclaración de algunos conceptos abordados.

En conjunto, ambas actividades evidencian que la evaluación en la UEPS no se limitó a verificar conocimientos aislados, sino que se centró en valorar la comprensión holística, la capacidad explicativa y la posibilidad de aplicar lo aprendido para analizar problemas reales y proponer soluciones contextualizadas (Calisaya, 2023). El cierre de la unidad muestra que los estudiantes lograron articular conceptos científicos con implicaciones sociales, desarrollar pensamiento crítico y movilizar saberes hacia la acción, elementos fundamentales en la ECC desde un enfoque crítico (Gebeyehu et al., 2024).

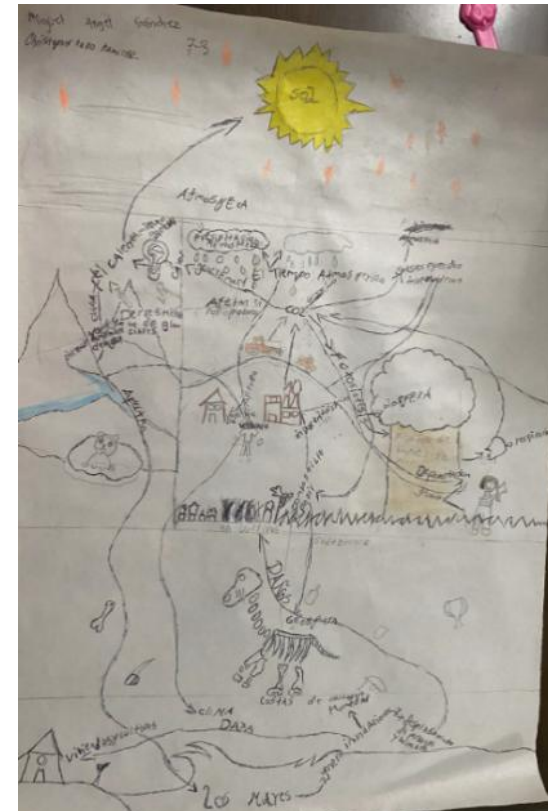
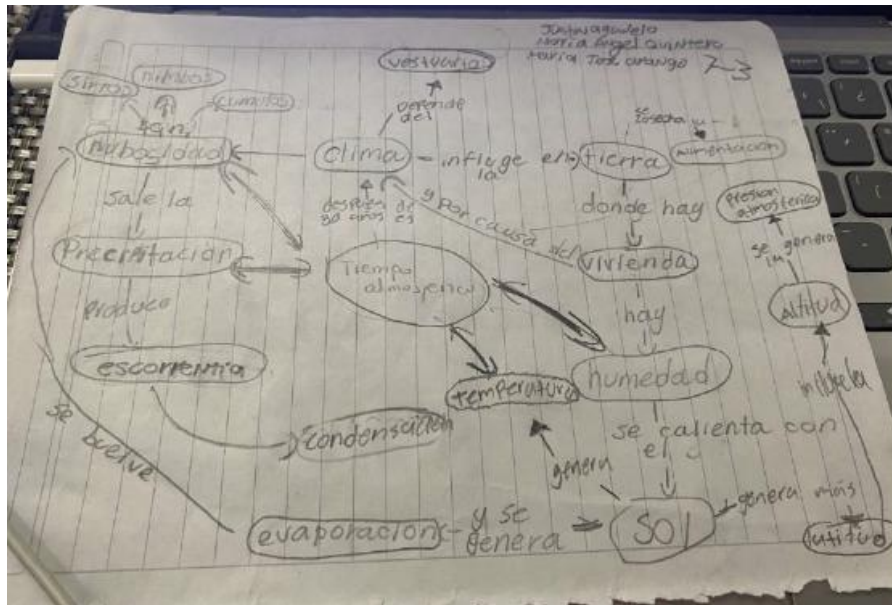
La aplicación de la UEPS permitió identificar avances importantes en la comprensión conceptual, el razonamiento causal y la integración crítica de los contenidos relacionados con el cambio climático. Las actividades de evaluación evidenciaron que los estudiantes lograron movilizar saberes para explicar fenómenos, proponer acciones de mitigación y reorganizar sus estructuras conceptuales, mostrando progresos coherentes con los objetivos de la secuencia didáctica.

Tabla 45.*Mapas conceptuales iniciales y finales***Mapas conceptuales iniciales****E1****Mapas conceptuales finales**

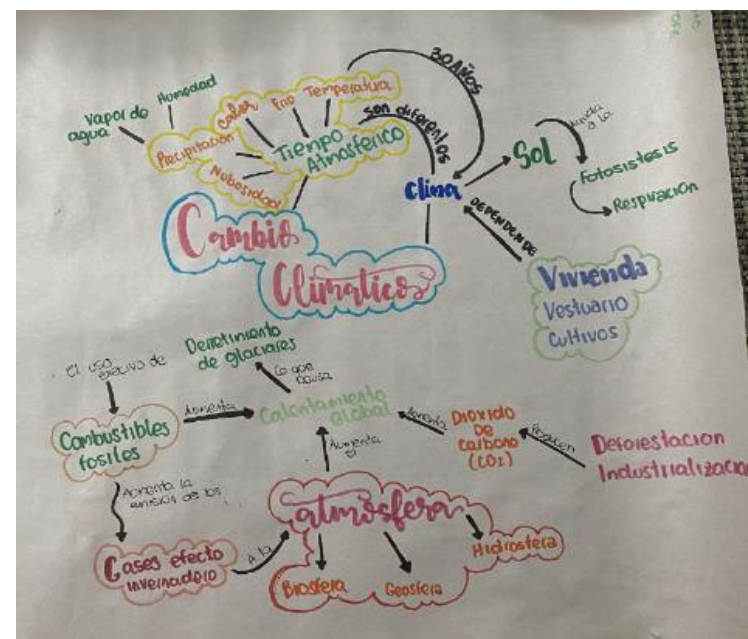
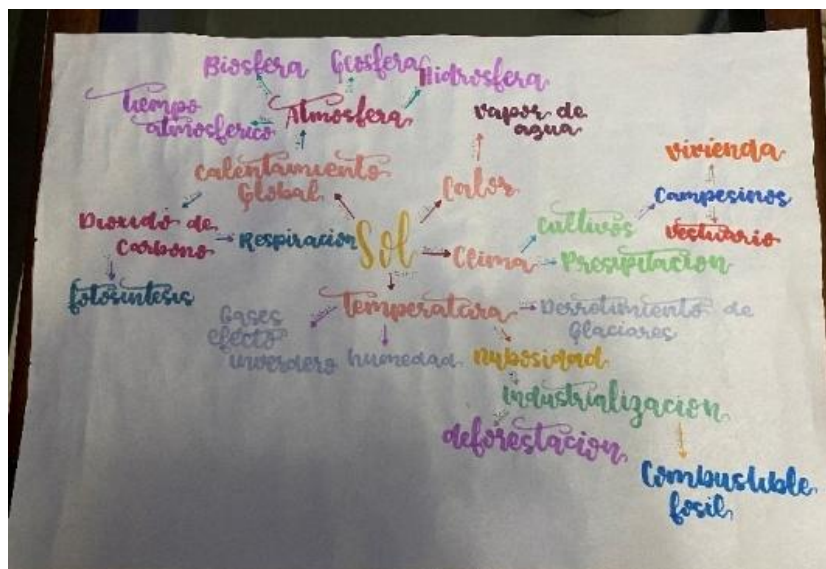
E2



E3



E6



Estos resultados ofrecen una base sólida para ingresar a la cuarta fase de la Investigación Basada en Diseño, en la que se realiza el análisis retrospectivo. Esta etapa permitirá examinar, de manera sistemática, los indicios de aprendizaje a la luz de los principios de ASC implementados en cada actividad, así como la pertinencia, coherencia y eficacia del diseño de la UEPS. El propósito es valorar qué funcionó, qué requiere ajuste y cómo los principios teóricos y pedagógicos se reflejaron en las transformaciones observadas en los estudiantes.

4.4 Fase 4 IBD: Análisis retrospectivo

El análisis retrospectivo de la UEPS consideró dos dimensiones complementarias: por un lado, la evaluación del diseño mismo de la unidad, examinando su coherencia interna y su adecuación a los pasos propuestos por Moreira (2011) para una UEPS; y por otro, la valoración de los indicios de aprendizaje generados durante la implementación, interpretados a la luz de los principios del ASC (Moreira, 2005) utilizados en cada actividad orientadora. Ambas dimensiones responden al objetivo 4 de la tesis, orientado a comprender cómo el diseño y la puesta en práctica de la UEPS muestran indicios de aprendizaje significativo y la postura crítica de los estudiantes frente al cambio climático.

4.4.1 Análisis retrospectivo del Diseño

El análisis retrospectivo de la UEPS se orientó a valorar la coherencia del diseño con los principios del ASC, así como la calidad de su implementación, de acuerdo con los criterios propuestos por Guisasola et al. (2021). Este análisis permitió identificar fortalezas, limitaciones y aspectos susceptibles de mejora en futuras versiones de la unidad.

En primer lugar, la UEPS mostró una coherencia metodológica sólida acorde con los principios del ASC de Moreira (2005), abordados en este estudio; ya que cada paso se operacionalizó mediante actividades orientadoras que promovieron la externalización de conocimientos previos, la interacción social y cuestionamiento, la percepción–representación y el conocimiento como lenguaje. Las actividades de cuestionamiento inicial, las tareas de representación de fenómenos climáticos, las modelaciones experimentales y las actividades

de argumentación reflejan una implementación progresiva y articulada de los principios del ASC a lo largo de toda la secuencia. Esta coherencia se evidenció también en la integración transversal de los conceptos clave: tiempo atmosférico, clima, efecto invernadero, ciclo del carbono, causas antropogénicas y consecuencias socioambientales, de modo que cada fase aportó elementos que convergieron en las tareas finales de mitigación y en los mapas conceptuales.

Desde la perspectiva del análisis de calidad de Guisasola et al. (2021), es posible identificar algunos aspectos relevantes, por ejemplo, los problemas relacionados con la claridad de las actividades. Algunos estudiantes presentaron dificultades iniciales para interpretar consignas asociadas a tareas de escala global (distribución del CO₂ o el análisis del efecto albedo). Aunque fueron resueltas mediante acompañamiento docente, estos hallazgos sugieren que algunas actividades requieren instrucciones más explícitas o ejemplos previos que faciliten la comprensión inicial sin reducir la exigencia cognitiva.

Respecto a los problemas asociados al tiempo necesario para completar las actividades, se identificó que ciertos momentos de la UEPS, especialmente las actividades experimentales y la caracterización de plantas del humedal, demandaron más tiempo del previsto. No obstante, estas actividades fueron altamente significativas para los estudiantes, pues permitieron la movilización de representaciones, observaciones y argumentaciones que fortalecieron la construcción conceptual. Aun así, se reconoce la necesidad de ajustar la temporalización para garantizar un ritmo adecuado y evitar la fragmentación o sobrecarga en algunos momentos de la secuencia.

En relación con los problemas imprevistos inherentes a la implementación, la UEPS enfrentó desafíos vinculados a concepciones alternativas más arraigadas de lo esperado, como la atribución del cambio climático exclusivamente a la sobrepoblación o la asociación incorrecta entre evaporación y aumento del nivel del mar. Asimismo, algunos grupos requirieron mayor apoyo para la construcción del mapa conceptual final, lo que sugiere la conveniencia de integrar más andamiajes explícitos sobre relaciones proposicionales en próximas implementaciones.

En síntesis, el análisis retrospectivo del diseño evidencia que la UEPS fue coherente con los principios del ASC y que, pese a los desafíos propios de una implementación en aula, permitió el desarrollo progresivo de procesos de cuestionamiento, representación,

explicación y argumentación. La articulación entre las actividades, la vinculación constante con el contexto y la progresión conceptual favorecieron la significatividad crítica del aprendizaje, al tiempo que se identificaron ajustes necesarios para optimizar la claridad, el tiempo y la gestión de imprevistos en futuras versiones (Figura 34)

Figura 34.*Secuencia de implementación de la UEPS*

4.4.2. Análisis retrospectivo de los indicios de aprendizaje a la luz de los principios del Aprendizaje Significativo Crítico

Los indicios de aprendizaje se analizaron a partir de las respuestas de los estudiantes a las actividades orientadoras, diseñadas inicialmente para activar de manera específica cada uno de los cuatro principios implementados: conocimiento previo, interacción social y cuestionamiento, percepción–representación y conocimiento como lenguaje. No obstante, aunque el diseño buscó en un inicio que cada actividad respondiera de forma puntual a un principio determinado, los resultados evidenciaron que en la práctica los aprendizajes se desarrollaron de manera más integrada. Es decir, en cada principio emergieron contribuciones de los demás: en las actividades centradas en cuestionamiento aparecieron expresiones de conocimiento previo; en las de percepción–representación surgieron elementos conocimientos previos y en las tareas de conocimiento como lenguaje se movilizaron percepciones, interpretaciones y conocimientos previos. Esto demuestra que los principios del ASC no operan de manera aislada, sino que se potencian mutuamente durante el proceso de aprendizaje.

4.4.2.1 Principio del conocimiento previo. El principio del conocimiento previo constituye la base del ASC, dado que, según Moreira (2005, 2011, 2012), todo nuevo aprendizaje se construye a partir de las ideas, experiencias, creencias, percepciones y representaciones iniciales que los estudiantes poseen. La reflexión retrospectiva de la UEPS muestra que este principio se cumplió de manera sólida, pues las actividades iniciales permitieron visibilizar concepciones erróneas, estructuras conceptuales fragmentadas y algunos saberes pertinentes que funcionaron como anclajes para la construcción de nuevos significados.

La indagación inicial, interpretación de imágenes y elaboración de un mapa conceptual, permitieron identificar tres características centrales del conocimiento previo de los estudiantes:

1. Fragmentación conceptual y ausencia de una estructura sistémica del clima

Los mapas conceptuales iniciales evidenciaron baja profundidad jerárquica, escaso uso de palabras enlace y ausencia de relaciones cruzadas. Aunque los estudiantes eligieron raíces como calentamiento global, sol, planeta o tierra, ninguna permitió organizar el sistema climático como un conjunto articulado.

Esto se alinea con lo planteado por Novak y Cañas (2008), para quienes la estructura conceptual revela la organización cognitiva del alumno: cuando hay enlaces simples y estructuras lineales, puede ser evidencia de que la comprensión es frágil y poco integradora.

2. Concepciones alternativas persistentes documentadas en la literatura

Los hallazgos muestran que los estudiantes presentaban concepciones ampliamente reportadas:

a) Tiempo atmosférico vs. Clima: Confunden TA con clima y con CC, no reconocen escalas temporales. Esto coincide con Cartwright et al. (2021) y Roychoudhury et al. (2017), quienes evidencian que esta distinción es uno de los obstáculos conceptuales más frecuentes en educación climática.

b) Efecto invernadero y GEI: Los estudiantes asociaron el EI con contaminación, daño ambiental y calentamiento global. Mencionaron la capa de ozono al interpretar GEI. No comprendieron el mecanismo físico de retención de calor. Estos resultados son consistentes con García-Rodeja y Lima (2012), Varela et al. (2020) y Ladrera y Robredo (2022), quienes documentan la confusión sistemática entre EI, GEI, contaminación y capa de ozono en secundaria.

c) Ciclo natural del carbono: Los estudiantes reconocieron fotosíntesis y respiración, pero no descomposición ni cadenas tróficas. No vincularon el ciclo del carbono con el equilibrio climático. No comprendieron el rol regulador del CO₂ natural. Estos hallazgos coinciden con You et al. (2021) y Roychoudhury et al. (2017), quienes afirman que la comprensión incompleta del ciclo del carbono limita el desarrollo de modelos causales del cambio climático.

d) Causas antropogénicas: los estudiantes reconocen la acción humana como causa principal. Sin embargo, consideran el cambio climático como algo lejano y externo a su vida cotidiana. Este patrón coincide con Ballantyne et al. (2016) y Agosta Scarel y Cuetos Revuelta (2023), quienes señalan que los jóvenes reconocen la responsabilidad humana, pero no su participación personal.

3. Sensibilidad frente a las consecuencias del cambio climático: en contraste con la baja estructuración conceptual, los estudiantes mostraron alta sensibilidad socioambiental. Capacidad espontánea para vincular CC con derretimiento de glaciares, pérdida de hábitat y afectación de la

vida humana. Estas manifestaciones se alinean con lo reportado por García-Vinuesa et al. (2022), donde las consecuencias son uno de los aspectos mejor reconocidos por los estudiantes.

Desde la perspectiva del ASC, los hallazgos confirman que los conocimientos previos, fueron esenciales para iniciar el proceso de construcción de significados. Moreira (2005) plantea que el error no se considera un problema, sino un punto de partida que debe hacerse explícito para transformarse. Ante ello, las actividades iniciales cumplieron el rol de situaciones pertinentes para exteriorizar concepciones: las imágenes permitieron activar ideas espontáneas, los mapas revelaron la organización cognitiva inicial y las expresiones mostraron percepciones e intereses del fenómeno.

En síntesis, el análisis retrospectivo del principio del conocimiento previo evidenció que los estudiantes iniciaron la UEPS con ideas previas parciales, fragmentadas y fuertemente influenciadas por discursos mediáticos, pero también cargadas de significados sociales y emocionales. Este panorama fue fundamental para formular las actividades de la UEPS contemplando elementos como la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la consolidación (Moreira, 2011) y constituye una evidencia sólida de que el primer principio del ASC se cumplió plenamente.

4.4.2.2 Principio de interacción social y cuestionamiento

La reflexión retrospectiva sobre el principio de interacción social y cuestionamiento permitió reconocer cómo, a lo largo de la implementación de la UEPS, los estudiantes avanzaron desde formulaciones iniciales simples y centradas en fenómenos visibles hacia preguntas más elaboradas, capaces de articular causas, mecanismos y consecuencias del cambio climático en distintos niveles de complejidad. En la tabla 46 se muestra algunos ejemplos de ello.

Tabla 46.

Progresión de la formulación de preguntas en el desarrollo de la UEPS

Momento de elaboración	Preguntas
Iniciales	¿Cómo afecta la contaminación al tiempo atmosférico en Colombia? (E1) ¿Por qué los meses influyen en el cambio del clima? (E6)
Intermedias	¿Por qué el planeta tierra tiene los elementos perfectos para la vida? (E3) ¿Por qué el CO ₂ es necesario y malo a la vez? (E2)

Finales	<i>¿Qué pasaría si sigue aumentando el calor de la tierra? (E1)</i> <i>¿Si necesitamos fábricas en nuestras vidas, pero dañan mucho el medio ambiente, que solución podemos buscar? (E2)</i> <i>¿Cómo afecta el deshielo de los polos al mismo lugar donde habitan y a los otros lugares del mundo? (E3)</i> <i>¿cómo está empezando a sobrevivir Tuvalu? (E6)</i>
----------------	---

El cuestionamiento operó como un recurso epistemológico central en la generación de ASC, pues no solo permitió exteriorizar las ideas con las que los estudiantes interpretaban el fenómeno, sino que también funcionó como motor para reorganizar y reconstruir sus ideas, en coherencia con lo propuesto por Moreira (2005, 2011).

Durante las primeras actividades, especialmente en la interpretación de imágenes y en los ejercicios de formulación de preguntas, los estudiantes mostraron una tendencia a plantear interrogantes que presentaban baja complejidad y se centraban en componentes aislados del sistema climático. La evolución del cuestionamiento dio cuenta de un avance en la capacidad de problematizar situaciones ambientales desde perspectivas múltiples. En actividades como *Ricitos de Oro y la zona habitable*, el video del CO₂, *El clima está loco*, *El puesto de pesca de Anuk* y el caso *Tuvalu*, los estudiantes formularon preguntas que mostraron un desplazamiento desde dudas centradas en hechos aislados hacia interrogantes que integraban factores atmosféricos, biogeoquímicos y socioambientales.

Las preguntas elaboradas por los estudiantes muestran que el cuestionamiento funcionó como una herramienta reguladora del aprendizaje. La interacción entre compañeros permitió refinar ideas, justificar posturas y reconstruir explicaciones, favoreciendo la emergencia de patrones de razonamiento causal cada vez más sofisticados. Esta dinámica coincide con López Ríos et al. (2014) y Sanjosé y Torres (2014), quienes destacan que la calidad del cuestionamiento aumenta cuando los estudiantes participan en intercambios dialógicos en los que se ven obligados a contrastar sus propias explicaciones con las de otros.

Uno de los aportes más significativos del principio de interacción social y cuestionamiento es que permitió que los estudiantes desarrollaran conciencia sobre la multicausalidad del cambio climático. Las preguntas formuladas en actividades de progresión conceptual evidenciaron que los estudiantes comenzaron a integrar elementos del ciclo del carbono, la acción de los GEI, la deforestación, el uso de combustibles fósiles, la desigualdad en las emisiones y los impactos diferenciados sobre territorios vulnerables. Esta ampliación de mirada es particularmente relevante

desde el ASC, pues supone el tránsito desde una comprensión fragmentada del fenómeno hacia una lectura crítica y contextualizada que vincula lo global con lo local y lo estructural con lo cotidiano.

La mediación docente tuvo un papel clave en esta transformación mediante preguntas generadoras que permitieron profundizar en las relaciones causa–efecto, detonar el conflicto cognitivo y promover la metacognición. Por ejemplo, ante preguntas centradas en consecuencias aisladas, la docente intervino con cuestionamientos como: “¿Qué crees que está causando ese cambio?” o “¿Cómo se relaciona esto con lo que vimos sobre los gases de efecto invernadero?”. En otros momentos, promovió la ampliación de las explicaciones mediante preguntas como: “¿Esto ocurre solo aquí o también en otros lugares?” o “¿Qué pasaría si esta situación continúa en el tiempo?”. Estas intervenciones favorecieron que los estudiantes ampliaran sus explicaciones y establecieran relaciones más complejas.

Finalmente, la reflexión sobre esta fase permite concluir que el principio de interacción social y cuestionamiento no solo fortaleció la comprensión conceptual de los estudiantes, sino que además fomentó disposiciones críticas necesarias para enfrentar problemas socioambientales. Los estudiantes aprendieron a preguntar mejor, a dialogar con otros para construir conocimiento y a comprender el cambio climático como un fenómeno complejo que exige análisis, reflexión y agencia. Esto representa un avance coherente con los objetivos del ASC, en la medida en que el cuestionamiento se convierte en una práctica intelectual que transforma la manera en que los estudiantes interpretan la realidad y los prepara para tomar decisiones informadas frente a los desafíos del cambio climático.

Es importante mencionar que, si bien el cuestionamiento promovió participación genuina y formulación de preguntas de mayor nivel cognitivo, no todos los equipos avanzaron al mismo ritmo ni con la misma profundidad. En algunos casos, las preguntas tendieron a centrarse en consecuencias dramáticas o en escenarios extremos, lo cual evidencia que el razonamiento intuitivo siguió influyendo en ciertos momentos. Además, persistieron dudas y se evidenció la mezcla de conceptos como clima, tiempo atmosférico y calentamiento global, lo que mostró que el principio actuó no solo como un motor de indagación, sino también como un espacio donde emergieron tensiones conceptuales propias del proceso de aprendizaje. Esto evidenció que el cuestionamiento permitió identificar tanto avances como áreas que requieren un mayor refinamiento conceptual.

4.4.2.3 Principio de percepción-representación La reflexión retrospectiva del principio de percepción–representación muestra cómo, a lo largo de la UEPS, los estudiantes avanzaron desde interpretaciones intuitivas y fragmentadas del sistema climático hacia formas de representación más estructuradas, simbólicas y cercanas a modelos científicos.

Este principio, fundamental en el ASC (Moreira 2005), permitió que los estudiantes transformaran aquello que percibían, en imágenes, experimentos, datos, problemáticas reales o situaciones hipotéticas, en representaciones que expresaban relaciones causales y funcionamiento de sistemas relacionados con el cambio climático. En las primeras actividades, la percepción estuvo profundamente ligada a imágenes y situaciones problematizadoras: la representación del ciclo del agua o de la absorción de CO₂ permitieron que los estudiantes exteriorizaran cómo entendían el fenómeno climático desde su experiencia cotidiana. Estas percepciones iniciales, aunque en muchos casos limitadas o con confusiones, constituyeron un punto de partida indispensable para la construcción de nuevas representaciones. Como señalan Covitt et al. (2021), la transición desde la percepción hacia formas más elaboradas de representación es un componente esencial del aprendizaje de sistemas complejos, pues obliga al estudiante a reorganizar su comprensión del fenómeno.

A medida que avanzó el desarrollo de la UEPS, la representación adoptó formas progresivamente más elaboradas, como mapas conceptuales, representaciones de emisiones de CO₂ a escala mundial, lecturas críticas sobre la zona habitable, modelos del ciclo del carbono, representaciones experimentales del albedo y clasificaciones de emisiones territoriales y familiares. En estas actividades, los estudiantes observaron fenómenos y los fueron transformando en estructuras simbólicas, verbales y gráficas que dieran cuenta de relaciones clave del sistema climático.

La actividad sobre la zona habitable, por ejemplo, favoreció la construcción de un modelo conceptual en el que los estudiantes integraron la radiación solar, la composición atmosférica y los GEI como factores que permiten o limitan la habitabilidad planetaria. Esta reinterpretación de sus percepciones iniciales es coherente con lo reportado por Siegner (2018), quien señala que el trabajo con representaciones analógicas y modelos favorece el tránsito desde ideas intuitivas hacia explicaciones más estructuradas de los procesos climáticos (Tabla 47).

Es importante señalar que estas transformaciones no se presentan de manera homogénea en todos los estudiantes ni responden a un seguimiento individual sistemático. El análisis se basa en

indicios observados en las producciones estudiantiles, los cuales permiten identificar tendencias en la forma en que los estudiantes representaron el fenómeno a lo largo de la implementación.

Tabla 47.

Transformación de las representaciones durante la implementación de la UEPS

Fenómeno	Representación verbal	Representación icónica
Ciclo del agua (E1)	Diseño de experimento <i>“Los materiales que usamos fueron agua, olla estufa, procedimiento echa agua en una olla ponerla en un fogón y luego lo prendemos y dejaríamos que hierva hasta el punto que se apure y haga la forma de una nube resultados. Este experimento representa la representación de una nube con agua potable y fuego”</i>	
Las plantas absorben CO₂ (E2)	Diseño de experimento <i>Materiales dos tarros con cierre hermético una planta y dos termómetros primero se planta las plantas en el tarro luego se le pone el termómetro dentro de los tarros y se cierran bien fuerte y se ponen al sol y se mide la temperatura. Se supone que, en el tarro con la planta, la temperatura es más baja y en el tarro sin la planta. El calor es más abundante porque el árbol atrae el dióxido de carbono y retiene el calor.</i>	
Emisiones de CO₂ en el mundo (E3)	Analiza las causas de las emisiones de CO₂ en el mundo <i>“América del Norte: está pintado en naranja, debido a su gran producción de petróleo y sus fábricas y su gran población. América del Sur: está en naranja, debido a sus fábricas. Deforestación gran población y contaminación. Europa: está en un azul-verdoso debido a su buena gestión, con las industrias y su buena intervención sobre la contaminación. África del norte está en color esmeralda, debido a la minería y a la poca importancia del medio ambiente. África del Sur, azul verdoso claro debido a la tala de árboles y contaminación por minería. Asia está en rojo debido a su mala gestión industrias poca cultura medioambiental y su sobrepoblación. Oceanía está en Claro debido a sus pocas industrias y su buena cultura en el medio ambiente”</i>	

El efecto albedo	Pregunta: ¿por qué el color del hielo ayuda a regular el clima? Respuesta: <i>“porque ayuda a mantener la temperatura gracias a que su color la refleja no la absorbe”</i> (E6) Pregunta: ¿Cuál es el problema del incremento del nivel del mar? <i>“el problema radica en el aumento progresivo del mar provocando que haya pérdida del territorio, haciendo que se pierdan los cultivos y la comida”</i> (E3)	
-------------------------	---	---

Del mismo modo, la percepción–representación fue clave en actividades experimentales como la modelación del albedo, donde los estudiantes lograron representar simbólicamente por qué el color blanco refleja la radiación solar, cómo ello regula la temperatura terrestre y por qué la pérdida de hielo incrementa la absorción de calor. Aunque no realizaron experimentos reales, la simulación manipulada funcionó como un dispositivo representacional que reorganizó sus explicaciones y fortaleció su razonamiento causal. Moreira (2005) señala que esta transición, del percibir a modelar, constituye un momento crítico para el ASC, pues es allí donde el estudiante pasa de “ver” un fenómeno a entender cómo funciona.

El análisis de la distribución global del CO₂ evidenció avances en el principio de percepción–representación. Los estudiantes interpretaron mapas, colorearon regiones según niveles de emisión y justificaron patrones de distribución al relacionar procesos como la industrialización, la deforestación, el transporte o la presencia de grandes masas vegetales. Aunque parte de sus interpretaciones permanecieron ancladas en intuiciones iniciales, lograron construir representaciones que integraban dimensiones económicas, geográficas y ambientales. Este tipo de trabajo es coherente con lo señalado por Siegner (2018) y Canaza-Choque et al. (2021), quienes destacan que el uso de mapas y modelos espaciales favorece la comprensión de desigualdades climáticas a escala global.

Finalmente, el caso de Tuvalu consolidó este principio al permitir que los estudiantes representaran, mediante lenguaje escrito, las relaciones entre el ascenso del nivel del mar, el derretimiento de la criósfera, la pérdida de territorio, la afectación de cultivos y los desplazamientos humanos. En sus respuestas se observó que la percepción de un fenómeno inicialmente distante se transformó en un modelo explicativo en el que integraron causas físicas, mecanismos climáticos y consecuencias socioambientales. Esta capacidad para articular dimensiones naturales y sociales a partir de un caso real constituye un indicador de pensamiento sistémico emergente, en coherencia

con enfoques de educación climática que destacan el valor de los estudios de caso para integrar escalas y dimensiones del cambio climático (Stevenson et al., 2017; González Gaudiano y Meira Cartea, 2020).

En conjunto, la reflexión retrospectiva del principio de percepción–representación muestra que los estudiantes reorganizaron su comprensión conceptual del cambio climático, y aprendieron a expresarla en formas diversas: gráficas, verbales, simbólicas, espaciales y experimentales. Estas representaciones, construidas colectivamente, permitieron llevarlas hacia significados más complejos, transformando lo inicialmente percibido en modelos explicativos más robustos. De esta manera, se evidencia que la UEPS logró cumplir con uno de los propósitos centrales del ASC: favorecer una comprensión crítica del sistema climático mediante la construcción y reconstrucción de representaciones que permitan ver, pensar y explicar la realidad desde nuevas perspectivas.

4.4.2.4 Conocimiento como lenguaje: La reflexión retrospectiva del principio de conocimiento como lenguaje evidencia cómo, a lo largo de la implementación de la UEPS, los estudiantes progresaron en su capacidad para comunicar, organizar y explicar conceptos climáticos con más precisión y sentido crítico. Desde la perspectiva del ASC, Moreira (2005) sostiene que el conocimiento no es solo la adquisición de conceptos, sino la apropiación de los lenguajes verbales, gráficos, simbólicos, argumentativos, mediante los cuales una comunidad construye y negocia significados. En este estudio, el lenguaje operó como un medio fundamental para transformar ideas cotidianas en explicaciones científicas, así como para expresar posicionamientos críticos frente a la problemática climática.

Desde las primeras actividades, el lenguaje permitió identificar cómo los estudiantes nombraban los fenómenos del sistema climático y cómo los dotaban de significado. Las proposiciones iniciales revelaron un lenguaje marcado por términos usados indistintamente, calentamiento global, clima, tiempo atmosférico, CO₂, GEI; lo que evidencia la presencia de confusión en algunos conceptos. Sin embargo, estas expresiones constituyeron un punto de partida clave para la resignificación progresiva, pues fueron la base para mediar el tránsito hacia formas más precisas y científicas de comunicar sus ideas. Este proceso coincide con lo planteado por Novak y Cañas (2008), quienes subrayan que la construcción de proposiciones claras es un indicador esencial de avance conceptual.

A medida que avanzó la secuencia, el principio de conocimiento como lenguaje se hizo visible en actividades que exigían reorganizar información, interpretar datos y explicar fenómenos en términos propios. La clasificación de variables atmosféricas, la descripción de los mecanismos del efecto invernadero, la argumentación sobre el papel del CO₂ en los ecosistemas y la interpretación de mapas globales de emisiones demandaron que los estudiantes procesaran la información proporcionada y la transformaran en conceptos articulados, integrando relaciones, explicaciones y fundamentos científicos. Esta reorganización del discurso evidenció no solo una comprensión más estructurada de los contenidos, sino también una apropiación progresiva del vocabulario propio del sistema climático, en coherencia con planteamientos que conciben el lenguaje como una estrategia central para el aprendizaje de las ciencias (Candela y Espinosa, 2017).

Este principio alcanzó uno de sus puntos más fuertes en el trabajo con textos científicos y periodísticos, particularmente en el caso de Tuvalu. Al leer, sintetizar y responder preguntas sobre este caso, los estudiantes integraron vocabulario técnico —como nivel del mar, sumersión, vulnerabilidad, desplazamiento, calentamiento global y corrientes marinas— con categorías sociales asociadas a vivienda, seguridad alimentaria y territorio. Esta articulación discursiva permitió construir explicaciones en las que el cambio climático fue comprendido no solo como un proceso físico, sino como un fenómeno socioambiental que afecta modos de vida concretos, en coherencia con enfoques de educación climática situada que destacan el valor del lenguaje para articular escalas científicas y sociales (Korsager & Slotta, 2015).

Es importante señalar que, si bien los estudiantes lograron identificar con claridad las consecuencias del fenómeno en términos de pérdida de territorio, afectación de cultivos y condiciones de vida, sus explicaciones tendieron a atribuir el problema al cambio climático como fenómeno general, sin explicitar de manera sistemática factores estructurales como los modelos de desarrollo, las emisiones industriales o las desigualdades entre países (Tabla 48).

Tabla 48.

Respuestas de los estudiantes en relación con el caso Tuvalu

Fenómeno	Lenguaje científico escolar
	<i>“Que Tuvalu se ha estado sumergiendo gracias a que el mar ha estado aumentando. Los alimentos están en escases porque el agua del mar los está dañando” (E1)</i>

¿Cuál es el problema con Tuvalu?	<i>“Que el nivel del mar está tapando el atolón, se está acabando la pesca, se está afectando el medio de transporte y les quita la vivienda a muchos habitantes” (E2)</i> <i>“El problema radica en el aumento progresivo del mar provocando que haya pérdida del territorio, haciendo que se pierdan los cultivos y la comida” (E3)</i> <i>“el problema es que a esta región se la está comiendo el agua y ya se están quedando sin con que vivir” (E6)</i>
¿Por qué se dio el problema?	<i>“por el cambio climático, ya que al ocurrir el aumento del nivel del mar y la isla empieza a sumergirse bajo el agua” (E1)</i> <i>“por el calentamiento global que deritió los polos y hace que aumente el nivel del mar y se hunda la isla de Tuvalu” (E2)</i> <i>“el problema se da por la reducción de los polos, menor evaporación, aumentando el nivel del agua provocando inundaciones, provocando más calentamiento global” (E3)</i> <i>“porque el cambio climático está afectando las corrientes de agua, lo que hace que la marea suba” (E6)</i>

Las actividades de argumentación oral y escrita, como justificar la distribución global del CO₂, explicar la absorción de CO₂ por las plantas del humedal o responder por qué el albedo regula la temperatura, evidenciaron que los estudiantes podían sostener ideas propias a partir de observaciones, razonamientos e información previamente trabajada. Aunque persistieron algunas concepciones alternativas, la estructura de sus explicaciones se volvió progresivamente más coherente y causal, con un uso más preciso de términos como radiación solar, temperatura, retroalimentación, gases de efecto invernadero o equilibrio climático. Este avance es consistente con lo planteado por Zangori et al. (2017), quienes destacan que la argumentación científica favorece la articulación de relaciones causales esenciales para comprender el clima como un sistema.

Un resultado especialmente significativo se observó en los mapas conceptuales finales, los cuales constituyen una evidencia del avance hacia un pensamiento sistémico. Mientras que los mapas iniciales presentaban estructuras lineales, escasa jerarquización, repetición de palabras enlace y una débil articulación con el sistema climático, los mapas finales mostraron un progreso sustantivo: tres de los cuatro equipos eligieron “cambio climático” como concepto raíz, organizaron relaciones causales entre gases de efecto invernadero, temperatura, ciclo del carbono, causas antropogénicas y consecuencias, e incorporaron enlaces cruzados que evidenciaron la

comprensión de procesos interdependientes. Este tránsito desde representaciones fragmentadas hacia redes conceptuales integradas indica una reorganización del pensamiento desde categorías aisladas hacia una comprensión sistémica del fenómeno climático.

Asimismo, la elaboración de propuestas de mitigación consolidó el papel del lenguaje como herramienta de pensamiento crítico. Los estudiantes justificaron sus acciones relacionando causas, efectos y mecanismos, y fundamentaron sus decisiones en conceptos como reforestación, eficiencia energética, transporte y emisiones de CO₂. Esto evidencia que el lenguaje disciplinar operó como un medio para tomar posición frente al cambio climático, movilizando no solo conocimientos declarativos, sino también capacidades críticas y éticas, en coherencia con los propósitos del Aprendizaje Significativo Crítico (Tabla 49).

Tabla 49.

Uso del lenguaje científico escolar en la formulación de propuestas de mitigación

Propuesta	Respuestas de los estudiantes
Uso de la electricidad en casa	<i>“Apagamos las luces, desconectamos lo que no estamos utilizando”.</i> <i>“No es el bombillo en sí, sino la energía usada para que el bombillo suelte la luz.”</i> <i>“Para saber si bajamos la huella de carbono podemos comparar los recibos de energía del primer mes y del siguiente.”</i>
Unificar acciones individuales	<i>“El mayor problema es que las personas son muy perezosas y prefieren carros o motos”.</i> <i>“Si todos ponemos los residuos en el mismo lugar el impacto es mayor, pero si hacemos el debido proceso se puede reutilizar y no generar más contaminación.”</i>
Proyecto de reforestación con plantas nativas y de alta captura de CO₂.	<i>“El cambio climático afecta a los animales y plantas por los cambios en la temperatura y en su hábitat, haciendo que se extingan o se tengan que desplazar.”</i> <i>“Hay que elegir los árboles correctos porque necesitan la temperatura y la luz adecuadas para crecer y no marchitarse.”</i> <i>“Sería bueno enseñarle a la comunidad a plantar árboles para que también ayuden a reducir la huella de carbono.”</i>
Proyecto uso de electricidad y huella de carbono	<i>“La extracción del petróleo es más compleja que la del agua, por eso hace más daño”.</i> <i>“No es lo mismo un carro con gasolina que uno eléctrico, porque aquí la energía se hace con agua y eso contamina menos.”</i>

Finalmente, el lenguaje permitió que los estudiantes expresaran posicionamientos críticos frente a la problemática climática. Al justificar por qué ciertas acciones humanas alteran el sistema climático o por qué regiones vulnerables deben enfrentar impactos desproporcionados, los estudiantes comenzaron a utilizar el lenguaje no solo para describir procesos, sino para

cuestionarlos y tomar postura frente a ellos. Esta transición del lenguaje descriptivo al lenguaje crítico es coherente con la finalidad del ASC, en el que el aprendizaje significativo se orienta hacia la emancipación, la reflexión ética y la acción fundamentada.

En conjunto, la reflexión retrospectiva del principio de conocimiento como lenguaje revela que los estudiantes no solo aprendieron conceptos, sino que aprendieron a hablar el lenguaje del clima: a nombrar con mayor precisión, a explicar con mayor coherencia, con respaldo conceptual y a posicionarse críticamente ante una problemática global. Este avance lingüístico se convierte así en evidencia fundamental de que la UEPS promovió aprendizajes significativos y críticamente orientados, permitiendo que el lenguaje operara no como un simple vehículo, sino como un instrumento de construcción de significado, comprensión sistémica y conciencia socioambiental.

Síntesis de hallazgos de indicios de ASC: En conjunto, los indicios de ASC alcanzados mediante la integración de los cuatro principios evidencian transformaciones sustanciales en las formas de pensar, representar y explicar el cambio climático. Los estudiantes transitaron desde concepciones lineales y fragmentadas hacia un pensamiento sistémico, capaz de articular múltiples componentes del sistema climático y comprender sus interacciones. Este avance se acompañó de una evolución notable en el uso del lenguaje científico, expresada en patrones de razonamiento causal más precisos, diferenciación entre conceptos antes confundidos (como clima, tiempo atmosférico, GEI o calentamiento global) y una mayor capacidad para comunicar relaciones entre procesos naturales y antropogénicos.

Asimismo, se fortaleció la capacidad de cuestionamiento, observándose una progresión desde preguntas descriptivas hacia interrogantes explicativos y predictivos que permiten interpretar situaciones, reconstruir ideas y problematizar fenómenos desde perspectivas multicausales. Las expresiones gráficas, simbólicas y espaciales también mostraron un cambio cualitativo: los estudiantes pasaron de representaciones iniciales simples y desarticuladas a modelos más estructurados y próximos a modelos científicos, evidenciando mayor comprensión del sistema climático y sus retroalimentaciones.

En términos actitudinales, se consolidó una postura crítica frente al cambio climático, acompañada de mayor disposición hacia la acción y la identificación de alternativas de mitigación y adaptación contextualizadas a sus realidades. Todo ello se integró en un aprendizaje conceptual progresivo, sustentado en la movilización constante de representaciones, observaciones y

argumentaciones, que permitió superar comprensiones aisladas y avanzar hacia una visión holística e interconectada del fenómeno climático.

4.4.3 Análisis retrospectivo final: los principios de ASC y el diseño de la UEPS

La implementación de la UEPS permitió observar cómo los principios del ASC no solo orientaron la construcción de los aprendizajes, sino que operaron como motores que dinamizaron cada uno de los pasos del diseño de enseñanza planteado por Moreira (2011). La articulación entre ambos marcos: la estructura secuencial de la UEPS (Moreira, 2011) y la perspectiva crítica del ASC (Moreira, 2005), configuraron un escenario pedagógico capaz de atender los vacíos conceptuales identificados en los conocimientos previos, promover la construcción progresiva del sistema climático y proyectar a los estudiantes hacia posturas críticas y reflexivas frente al cambio climático y sus posibilidades de mitigación.

En el primer paso de la UEPS, orientado a la exteriorización del conocimiento previo, el principio de conocimiento previo del ASC otorgó profundidad interpretativa. La identificación de concepciones fragmentadas o alternativas sobre tiempo atmosférico, clima, efecto invernadero, GEI, ciclo del carbono, causas antropogénicas y consecuencias del cambio climático, permitió reconocer las ideas alternativas que guiaban el razonamiento de los estudiantes. Esta exploración inicial constituyó el punto de partida para diseñar intervenciones ajustadas a sus necesidades reales de aprendizaje, demostrando que, sin este diagnóstico preciso, no habría sido posible generar ASC.

En el segundo y tercer paso, donde la UEPS propone actividades introductorias y diferenciación progresiva de los conceptos. En las actividades planteadas, los principios de interacción social y cuestionamiento y de percepción–representación se volvieron fundamentales. El cuestionamiento emergente reveló tensiones conceptuales, activó la curiosidad y permitió que los estudiantes confrontaran sus ideas con nuevas evidencias. La percepción–representación, por su parte, facilitó la transición entre la experiencia cotidiana y los modelos explicativos sobre el sistema climático, ampliando la capacidad de los estudiantes para interpretar fenómenos como el EI, el papel del CO₂, o el ciclo natural del carbono. La sinergia entre estos principios fortaleció los mecanismos de diferenciación progresiva que requiere la UEPS, favoreciendo la construcción gradual de explicaciones más completas y fundamentadas.

En el cuarto y quinto paso, asociados a la reconciliación integradora y la consolidación, los otros tres principios de ASC abordados en este estudio, fueron necesarios, para que, el principio de conocimiento como lenguaje desempeñara un papel decisivo. Las actividades de interpretación de mapas, casos reales, modelación simbólica de la criósfera y el cálculo de huella de carbono posibilitaron que los estudiantes integraran múltiples escalas, local, territorial, global, y desarrollaran discursos más estructurados para explicar causas, consecuencias y retroalimentaciones del sistema climático. La comparación entre los mapas conceptuales iniciales y finales evidenció el tránsito desde estructuras lineales hacia configuraciones jerárquicas y sistémicas, mostrando la progresión conceptual característica del aprendizaje significativo. Aquí, los pasos de la UEPS y el ASC convergieron en su máxima expresión: ambos marcos buscan que el estudiante reorganice sus significados, y los resultados obtenidos muestran que este propósito fue logrado.

Finalmente, en el sexto paso de la UEPS, dedicado a la evaluación formativa y sumativa, los principios del ASC permitieron reinterpretar las evidencias no como resultados terminales, sino como indicios de transformación conceptual y crítica. Las propuestas de mitigación, las argumentaciones orales y los mapas finales no solo mostraron comprensión del sistema climático, sino también la emergencia de una postura ética y reflexiva, coherente con los principios del ASC. La capacidad de proponer acciones contextualizadas, justificar decisiones y reconocer la propia responsabilidad en el fenómeno climático constituye una evidencia sólida de que el ASC actuó como eje articulador del diseño didáctico y del desarrollo de la conciencia climática de los estudiantes.

En conjunto, la convergencia entre los pasos de la UEPS y los principios del ASC permitió abordar los vacíos detectados en los conocimientos previos, promover una comprensión progresiva y sistémica del cambio climático, y favorecer la construcción de un pensamiento crítico y sistémico, orientado a la acción. Este diálogo entre marcos constituye uno de los principales aportes de la presente tesis, al mostrar que es posible diseñar experiencias pedagógicas que articulen rigurosamente la teoría del aprendizaje significativo con una perspectiva crítica, ofreciendo una vía para fortalecer la alfabetización climática en contextos escolares y para formar ciudadanos capaces de comprender, cuestionar y actuar frente a la crisis climática contemporánea.

4.4.4 Ajustes sugeridos al diseño

De acuerdo con el análisis retrospectivo, los ajustes al diseño de la UEPS se orientan tanto a mejoras implementadas durante el proceso como a refinamientos propuestos para futuras aplicaciones. Estos ajustes se concentran principalmente en la gestión del tiempo y en el fortalecimiento de conceptos clave, con el fin de favorecer una progresión conceptual más coherente y un mejor desarrollo de las actividades (Tabla 50).

Tabla 50.

Ajustes al prototipo del diseño de la UEPS del CC desde una perspectiva crítica

Actividad orientadora	Tipo de ajuste	Ajuste
Análisis de emisiones de CO₂ a escala global	Implementado	Se realizaron actividades en la que se identifiquen geográficamente los continentes, los países, las actividades económicas y sociales y sus relaciones entre nivel local-global
Formulación de preguntas	Implementado	Se hizo un ajuste inicial. Se incorporó una actividad para diferenciar los tipos de preguntas, se hizo énfasis en la pregunta de investigación.
Elaboración de mapas conceptuales	Implementado	Insertar una actividad en la que se oriente las partes de un mapa conceptual, las palabras de enlace, la dirección de las flechas y la formación de proposiciones.
Diseño de experimentos y caracterización de plantas del humedal	Propuesto	Más tiempo para la ejecución de las actividades de percepción-representación.
Efectos del albedo y derretimiento de la criósfera	Propuesto	Incorporar actividades de reconocimiento geográfico que permitan ubicar regiones, comprender escalas globales y relacionar los fenómenos climáticos con sus contextos espaciales.

Los ajustes identificados no implican modificar la estructura de la UEPS, sino refinarla para fortalecer la claridad conceptual, la gestión del tiempo y la progresión del aprendizaje. Su incorporación permitiría consolidar la propuesta como una herramienta pedagógica coherente para

la ECC, en la medida en que favorece la comprensión sistémica del fenómeno y el desarrollo de posturas informadas frente a sus implicaciones.

En síntesis, en este capítulo se presentaron los resultados derivados de las cuatro fases de la Investigación Basada en el Diseño (IBD) y su articulación con los objetivos de la tesis. En la Fase 1 (objetivo 1), la revisión sistemática de literatura permitió identificar los elementos conceptuales y las herramientas pedagógicas fundamentales de la Educación para el Cambio Climático (ECC) y del Aprendizaje Significativo Crítico (ASC). Estos insumos constituyeron la base para diseñar el prototipo de la UEPS en la Fase 2 (objetivo 2), integrando los estándares de competencias básicas del Ministerio de Educación y organizando las actividades orientadoras según los pasos de la UEPS propuestos por Moreira (2011).

La Fase 3 (objetivo 3) incluyó dos ciclos iterativos. El primero correspondió a la validación por expertos del diseño inicial y a la prueba piloto de conocimientos previos realizada en la IE Liceo de la Universidad de Nariño (Pasto), cuyos resultados orientaron ajustes conceptuales y metodológicos al diseño. El segundo ciclo consistió en la implementación completa y secuenciada de la UEPS en la IE La Paz (Envigado), donde se documentaron los avances progresivos en la comprensión de los conceptos climáticos y en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes.

Finalmente, en la Fase 4 (objetivo 4), el análisis retrospectivo permitió valorar la calidad del diseño y examinar los indicios de aprendizaje a la luz de los principios del ASC: conocimiento previo, interacción social y cuestionamiento, percepción–representación y conocimiento como lenguaje. Esta reflexión evidenció avances significativos en la formulación de preguntas, la interpretación de fenómenos climáticos, el uso del lenguaje científico, la construcción de modelos y mapas conceptuales más integrados, y la adopción de una postura crítica frente al fenómeno y sus posibilidades de mitigación. En conjunto, los resultados muestran progresos tanto en la alfabetización climática como en la capacidad de los estudiantes para actuar informadamente frente al cambio climático, cumpliendo los propósitos formativos del enfoque ASC integrado en la UEPS.

Capítulo 5. Conclusiones

El propósito fundamental de esta tesis fue analizar la contribución de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (UEPS) sobre cambio climático al aprendizaje crítico y reflexivo en estudiantes de grado séptimo. Para ello, se establecieron cuatro objetivos desarrollados mediante la metodología de Investigación Basada en Diseño (IBD). Los dos primeros se orientaron a identificar los elementos conceptuales y las herramientas pedagógicas y didácticas de la Educación para el Cambio Climático (ECC) y del Aprendizaje Significativo Crítico (ASC) necesarios para el diseño de la unidad; el tercero se centró en el diseño de la UEPS articulado a los principios del ASC; y el cuarto tuvo como propósito evaluar los indicios de ASC en estudiantes de grado séptimo a partir de cuatro principios: *conocimiento previo*, *interacción social* y *cuestionamiento*, *percepción–representación* y *conocimiento como lenguaje*.

A continuación, se presentan las respuestas a cada una de las preguntas derivadas de los objetivos que orientaron la investigación.

5.1 ¿Cuáles son los elementos conceptuales y disciplinares fundamentales para la ECC que aporta la revisión sistemática de literatura?

La revisión sistemática de la literatura se realizó haciendo uso de la metodología PRISMA (Page et al., 2021). Este proceso permitió identificar contenidos, enfoques formativos y estrategias pedagógicas propias de la Educación para el Cambio Climático (ECC), fundamentales para definir qué enseñar y cómo enseñar en torno al cambio climático.

El análisis de los estudios revisados permitió identificar elementos conceptuales y pedagógicos clave para el diseño de la UEPS sobre cambio climático. En particular, se reconocieron cuatro variables emergentes de contenido que estructuran la ECC:

- (1) los conceptos asociados al sistema climático y sus cambios;
- (2) las causas naturales y antropogénicas del fenómeno;
- (3) las consecuencias naturales, sociales y económicas; y
- (4) las estrategias de adaptación, mitigación y toma de decisiones.

Esta organización conceptual se alinea con planteamientos de la literatura en ECC destacan la necesidad de articular conocimientos provenientes tanto de las ciencias naturales (química, física, ecología, biología) como de las ciencias sociales (geografía, demografía, economía) partiendo de procesos de alfabetización climática para avanzar hacia la acción informada, en diálogo con la educación ambiental (González Gaudiano & Meira Cartea, 2020; Covitt et al., 2021; Navarro et al., 2020). Asimismo, los estudios revisados resaltan el papel central del CO₂ en la comprensión del cambio climático, lo que orientó la selección de los conceptos clave incorporados en la UEPS.

En segundo lugar, la revisión permitió identificar estrategias pedagógicas y didácticas consistentes con enfoques de aprendizaje activo y participativo, tales como la indagación, la modelación, el análisis de casos, la experimentación, las actividades colaborativas, el uso de recursos tecnológicos y las actividades lúdicas. Este tipo de estrategias resulta especialmente pertinente para favorecer el desarrollo del pensamiento sistémico, el razonamiento causal y una comprensión crítica del fenómeno climático, tal como se reporta en la literatura sobre ECC que enfatiza el valor de metodologías activas y contextualizadas (Stevenson et al., 2017; Mostacedo-Marasovic et al., 2024).

En síntesis, la revisión sistemática de la literatura sobre educación para el cambio climático permitió establecer los fundamentos conceptuales y metodológicos para el diseño de la UEPS, proporcionando una estructura sólida que integra alfabetización climática, comprensión de causas y consecuencias, y acciones de mitigación y adaptación. Los estudios revisados muestran que una educación climática pertinente requiere articular conceptos científicos esenciales con estrategias de enseñanza que movilicen la indagación, la argumentación, la experiencia y el análisis contextual.

5.2 ¿Cuáles son las contribuciones teóricas y metodológicas que la revisión de literatura sobre ASC ofrece para el diseño de la UEPS sobre cambio climático?

La revisión sistemática de literatura sobre ASC, permitió identificar un conjunto de aportes conceptuales y metodológicos fundamentales para orientar cómo enseñar para favorecer aprendizajes profundos, críticos y socialmente relevantes, potenciales para el diseño de la UEPS sobre cambio climático.

En primer lugar, se evidenció que, aunque no se encontraron estudios previos que desarrollen de manera explícita la construcción de conceptos climáticos desde el ASC, sí hay investigaciones que trabajan con fenómenos relacionados, tales como energía, calor y temperatura, cambio de estado, fotosíntesis, residuos sólidos y huella de carbono. Estos estudios demostraron que el ASC favorece la construcción de conceptos científicos, el desarrollo de habilidades de argumentación, la reorganización de ideas previas y la toma de postura frente a situaciones socioambientales.

Asimismo, la literatura permitió identificar los principios facilitadores que el ASC emplea de manera recurrente para promover aprendizajes profundos. El principio de conocimiento previo se presenta como el más utilizado en el aula, constituyéndose en el eje que permite establecer anclajes cognitivos, anticipar dificultades y orientar las decisiones didácticas del docente. Los principios de interacción social y cuestionamiento, percepción–representación y conocimiento como lenguaje, ampliamente empleados en los estudios analizados, mostraron ser mecanismos eficaces para promover la negociación de significados, la formulación de preguntas relevantes, la interpretación crítica de fenómenos y la evolución del lenguaje científico. Estos principios no solo facilitan la reorganización conceptual, sino que también estimulan procesos reflexivos necesarios para el desarrollo de la postura crítica, aspecto esencial en la ECC.

En cuanto a las estrategias educativas, la literatura revisada destaca el uso de metodologías activas como la indagación, la argumentación, el análisis de situaciones problema, el aprendizaje basado en proyectos y el trabajo colaborativo. También resalta el valor de los recursos experimentales, tecnológicos, audiovisuales y lúdicos, todos ellos coherentes con una enseñanza centrada en el estudiante. Las UEPS y las unidades didácticas aparecen como estrategias privilegiadas para operacionalizar los principios del ASC.

En síntesis, la revisión de literatura permitió reconocer que el ASC ofrece una base metodológica para el diseño de la UEPS sobre cambio climático, al proveer principios orientadores, criterios para la construcción de actividades y estrategias para favorecer aprendizajes profundos, críticos y contextualizados. La convergencia entre los principios de ASC y las demandas formativas de la ECC fortalece la pertinencia y coherencia del diseño, permitiendo que la UEPS responda tanto a la complejidad conceptual del fenómeno climático como a la necesidad de formar estudiantes capaces de interpretar, cuestionar y actuar frente al cambio climático.

5.3 ¿Cuál es el papel de los principios de la TASC y su articulación en el diseño de la UEPS sobre cambio climático?

El diseño de la UEPS permitió materializar la articulación entre los contenidos científicos y socioambientales derivados de la ECC y los principios teóricos y metodológicos del ASC. Esta integración mostró que los principios del ASC no solo orientan la selección de estrategias didácticas, sino que configuran la estructura misma de la secuencia de enseñanza, favoreciendo un aprendizaje activo, reflexivo y contextualizado.

En primer lugar, el principio de conocimiento previo actuó como eje estructurante del diseño. La indagación de las concepciones iniciales mediante imágenes temáticas y mapas conceptuales permitió identificar ideas previas, lagunas conceptuales y representaciones intuitivas de los estudiantes sobre el clima, los gases de efecto invernadero, el ciclo del carbono, las acciones humanas y las consecuencias del cambio climático. Esta información resultó clave para determinar puntos de anclaje cognitivo y definir la progresión conceptual de la UEPS. En consecuencia, los contenidos se organizaron de modo que posibilitaran procesos de diferenciación progresiva, reconciliación integradora y consolidación, en coherencia con los planteamientos de Ausubel retomados por Moreira en el marco del Aprendizaje Significativo (Moreira, 2012).

El principio de interacción social y cuestionamiento se incorporó de manera transversal a la secuencia, orientando la selección de estrategias destinadas a promover la formulación de preguntas y la negociación de significados. El uso de imágenes, narrativas, videos, datos climáticos, memes científicos, noticias y debates favoreció el tránsito hacia niveles de interrogación explicativos y predictivos. Este principio orientó el diseño de actividades en momentos clave de la UEPS, como la introducción de conceptos, la contrastación entre fenómenos, la identificación de causas y consecuencias y la reflexión sobre alternativas de acción, contribuyendo al fortalecimiento de una postura crítica frente al cambio climático.

El principio de conocimiento como lenguaje permitió incorporar actividades orientadas a la interpretación, el uso de lenguaje científico escolar, la modelización y la comunicación científica. Las estrategias seleccionadas —lecturas analíticas, elaboración de textos breves, infografías, explicación de procesos, simulaciones y representaciones gráficas— facilitaron que los estudiantes construyeran y reorganizaran el significado del fenómeno climático mediante el uso progresivo del

vocabulario disciplinar propio de las ciencias. Este principio tuvo un papel central en los momentos de reconciliación integradora y consolidación, en los que se buscó que los estudiantes articularan conceptos previamente diferenciados y expresaran explicaciones cada vez más completas, coherentes y fundamentadas.

Finalmente, el principio de percepción–representación orientó la selección de actividades experimentales, prácticas, audiovisuales y de análisis visual, dirigidas a fortalecer la comprensión a partir de la interpretación de fenómenos observables y representaciones externas, como mapas, gráficas, imágenes satelitales, simuladores y diagramas. Este principio favoreció la capacidad de los estudiantes para traducir percepciones sensoriales y datos visuales en representaciones explicativas, aspecto clave para comprender fenómenos complejos como el efecto albedo, el derretimiento de la criósfera o la distribución global del CO₂.

En conjunto, los cuatro principios del ASC se integraron de manera coherente a los pasos de la UEPS —conocimientos previos, nivel introductorio, diferenciación progresiva, reconciliación integradora, consolidación y evaluación— configurando una secuencia didáctica que articula exploración, indagación, modelización, explicación y acciones informadas en el contexto escolar y cotidiano. El diseño resultante expresa una convergencia entre los fundamentos de la ECC y los postulados del ASC, orientada a promover aprendizajes conceptuales profundos, pensamiento sistémico, postura crítica y toma de decisiones informadas frente al cambio climático.

En este sentido, el ASC no solo aporta principios metodológicos aplicables al diseño de una UEPS, sino que constituye una estructura epistemológica que orienta la organización del contenido, la selección de actividades y la promoción de procesos reflexivos y transformadores en los estudiantes. Esto refuerza la pertinencia del ASC como marco para la educación climática en la escuela, al favorecer comprensiones significativas, contextualizadas y orientadas a la acción.

5.4 ¿Cuáles fueron los principales indicios de ASC en los participantes a partir de la implementación de la UEPS sobre cambio climático

La implementación de la UEPS permitió identificar varios indicios de ASC en los estudiantes, evidenciados a través de la evolución conceptual, las habilidades de razonamiento, la postura crítica y la capacidad para interpretar y explicar fenómenos relacionados con el cambio climático. Estos resultados se interpretan desde los cuatro principios del ASC, mostrando que la

secuencia didáctica diseñada generó transformaciones cognitivas, representacionales y actitudinales que reflejan una comprensión más profunda, sistémica y crítica del fenómeno climático.

En primer lugar, se observaron importantes progresos derivados del *principio del conocimiento previo*, mediante el cual los estudiantes transitaron desde concepciones fragmentadas, intuitivas o antropocéntricas sobre el clima hacia explicaciones más estructuradas y científicas. Los mapas conceptuales iniciales mostraban desorganización conceptual, relaciones lineales y la ausencia de elementos fundamentales del sistema climático. Tras la implementación, los mapas finales dieron cuenta de jerarquías más claras, relaciones proposicionales pertinentes, integración entre causas naturales y antropogénicas, y articulación entre GEI, efecto invernadero, ciclo del carbono y consecuencias globales. Este avance confirma que la UEPS logró activar, tensionar y reorganizar las concepciones previas, condición esencial para un ASC.

El *principio de interacción social y cuestionamiento* generó uno de los indicios más relevantes de ASC: el desarrollo progresivo de la capacidad para formular preguntas explicativas y predictivas sobre fenómenos climáticos. A lo largo de la UEPS, los estudiantes avanzaron desde preguntas descriptivas hacia interrogantes que integraban causas, consecuencias y alternativas de acción. Las preguntas surgidas en actividades como *el clima está loco*, *Ricitos de oro*, *reportando desde el lugar de los hechos*, *algunos los llaman contaminación*, *nosotros lo llamamos vida*, *Anuk el esquimal* y el caso *Tuvalu* reflejaron un pensamiento causal más complejo, la capacidad de problematizar situaciones socioambientales y una postura crítica frente al papel humano en la crisis climática. Este progreso evidencia la emergencia de un pensamiento crítico sustentado en la indagación, tal como lo plantea Moreira (2005, 2012) y lo documentan autores como López Ríos et al. (2014), Sanjosé y Torres (2014).

También se identificaron avances significativos en el *principio de percepción-representación*, evidenciados en la capacidad de los estudiantes para interpretar información visual, simbólica, experimental y cartográfica. Las actividades sobre formación de nubes, tipos de hielo, efecto albedo, mapas globales de CO₂ y simuladores del aumento del nivel del mar permitieron que los estudiantes transformaran percepciones iniciales en explicaciones fundamentadas y representaciones cada vez más cercanas a los modelos científicos. La transición desde interpretaciones intuitivas hacia razonamientos que integran energía, reflectividad,

retroalimentaciones climáticas y variabilidad espacial constituye un indicio de ASC en el ámbito representacional.

Por su parte, el *principio de conocimiento como lenguaje* posibilitó que los estudiantes desarrollaran habilidades para comunicar, argumentar y reorganizar el conocimiento científico. Las respuestas escritas, las explicaciones orales, la elaboración de textos, la caracterización de plantas como sumideros de CO₂, el análisis del caso Tuvalu, la producción de mapas conceptuales finales y la propuesta de mitigación local evidencian un avance en la precisión del vocabulario, la coherencia de las explicaciones y la capacidad para sostener argumentos con datos y relaciones conceptuales. El tránsito desde expresiones coloquiales hacia un lenguaje especializado escolar, así como la incorporación de términos como *retroalimentación*, *tiempo atmosférico*, *clima*, *GEI*, *absorción de calor*, *ciclo del carbono*, *sumideros* o *nivel del mar*, evidencian una apropiación creciente del discurso científico escolar.

En conjunto, los indicios de aprendizaje identificados muestran que los estudiantes avanzaron hacia:

- una comprensión más sistémica del cambio climático;
- un razonamiento causal más robusto y multiescalar (local–global);
- una postura crítica frente a la responsabilidad humana y las implicaciones éticas del fenómeno;
- la capacidad de interpretar representaciones visuales y datos climáticos;
- el fortalecimiento del lenguaje científico y la argumentación;
- una mayor disposición hacia la acción y la toma de decisiones informadas.

Finalmente, aunque se observaron avances significativos, también emergieron limitaciones propias del proceso: necesidad de mayor tiempo para profundizar en algunos conceptos, persistencia de ideas alternativas en torno al efecto invernadero o al albedo, y dificultades iniciales en la formulación de argumentos completos. Estas limitaciones no debilitan los resultados, sino que señalan oportunidades para ajustes futuros en el diseño de la UEPS y para ampliar las estrategias orientadas al fortalecimiento del ASC.

En síntesis, los resultados del Objetivo 4 confirman que la UEPS diseñada desde los principios del ASC no solo facilitó la construcción conceptual progresiva del cambio climático,

sino que promovió habilidades críticas, representacionales, lingüísticas y actitudinales necesarias para una educación climática transformadora.

5.5 Aportes a la educación en ciencias naturales y educación ambiental

La presente tesis permitió identificar algunos aportes teóricos, metodológicos y prácticos a la ECC.

5.5.1 Aportes teóricos

La tesis ofrece una contribución original al establecer un puente conceptual explícito y fundamentado entre la ECC y el ASC, con la construcción de un marco integrado con seis puntos de convergencia: participación activa, enfoque en la realidad contextual, vinculación comunitaria, pensamiento crítico, interdisciplinariedad, indagación y colaboración. Estos puntos, fundamentados en Moreira (2005, 2010, 2017) y en la literatura internacional de ECC, abordó el cambio climático desde una perspectiva crítica orientada a la acción, tal como lo proponen la UNESCO (2017), UNESCO, & University of Saskatchewan, (2024), Selby y Kagawa (2013) y los marcos actuales de la alfabetización climática.

5.5.2 Aportes metodológicos

La tesis desarrolló un método robusto y progresivo, desarrollado mediante IBD que incorporó: Revisión Sistemática de Literatura sobre ECC y ASC; el diseño de una UEPS fundamentada en ASC; dos ciclos iterativos y el análisis retrospectivo de la calidad del diseño y de los indicios de aprendizaje.

Este aporte metodológico resulta relevante para la enseñanza de las ciencias naturales y para la educación ambiental, en la medida en que proporciona orientaciones operativas que permiten abordar problemáticas socioambientales desde una perspectiva crítica, contextualizada y orientada a la acción en el aula.

El diseño de una UEPS que propone un modelo de enseñanza que articula: alfabetización climática, pensamiento sistémico, postura crítica, habilidades de indagación, acción para la mitigación y adaptación.

5.5.3 Aportes prácticos

El diseño final de una UEPS sobre cambio climático basada en ASC. La UEPS constituye un producto pedagógico completo, organizado en: conocimientos previos, introducción, diferenciación progresiva, reconciliación integradora, consolidación, evaluación. Es una herramienta concreta, adaptable y fundamentada para docentes de ciencias naturales y educación ambiental.

Estos avances se articulan con los propósitos de la educación ambiental, al favorecer en los estudiantes la comprensión de problemáticas socioambientales, la interpretación de sus causas y consecuencias y la disposición hacia la toma de decisiones informadas en su entorno.

La tesis ofrece estrategias didácticas listas para usar instrumentos de evaluación, actividades probadas en aula, orientaciones para conectar comunidad–escuela, ejemplos de modelación, indagación y problematización, un enfoque replicable en otras instituciones o grados.

De este modo, la UEPS no solo aporta a la enseñanza de contenidos científicos, sino que se configura como una herramienta para la educación ambiental, al promover la comprensión del entorno, la reflexión crítica y la acción informada frente al cambio climático.

En síntesis, la tesis constituye un aporte relevante al campo de la educación en ciencias naturales y la educación ambiental al demostrar que es posible articular la comprensión conceptual del cambio climático con procesos de reflexión crítica y orientación hacia la acción. Esta integración da lugar a un marco conceptual sólido, un modelo metodológico replicable y una propuesta didáctica que contribuye a la formación de estudiantes capaces de interpretar, cuestionar y actuar frente a problemáticas socioambientales contemporáneas.

5.6 Limitaciones

Las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la tesis se concentraron en aspectos estructurales y conceptuales que incidieron en el alcance de la implementación y en la profundidad del aprendizaje esperado. En primer lugar, el tiempo disponible para la ejecución de las actividades de la UEPS restringió la posibilidad de abordar con mayor detenimiento algunas prácticas experimentales, discusiones colectivas y análisis comparativos necesarios para fortalecer la comprensión sistémica del fenómeno climático.

En segundo lugar, los recursos materiales para el desarrollo de actividades experimentales fueron limitados, lo que obligó a utilizar simulaciones o experiencias demostrativas en lugar de experimentos o salidas de campo que habrían permitido a los estudiantes profundizar en procesos biológicos, físicos y biogeoquímicos asociados al ciclo del carbono, la criósfera o el efecto albedo.

Finalmente, se identificaron vacíos conceptuales derivados de otras disciplinas, principalmente, geografía, economía, ciencias políticas, avances en tecnología, salud, agricultura y uso del suelo, que son fundamentales para comprender de forma integrada las causas y consecuencias del cambio climático a escala local y global. Estas brechas implicaron más tiempo en la ejecución de actividades, y limitaron la posibilidad de avanzar en la interpretación crítica de escenarios complejos, puesto que los estudiantes no contaban con bases previas sólidas en estos campos, necesarios para la construcción de una visión más amplia del fenómeno.

5.7 Líneas de investigación futuras

Los resultados de esta tesis evidencian que la articulación entre el ASC y la ECC mediada por el diseño e implementación de una UEPS, se consolidó como una vía pedagógica potente para promover la alfabetización climática, el pensamiento sistémico y posturas críticas y orientadas a la acción, en estudiantes de educación básica; específicamente en estudiantes de séptimo grado. Sin embargo, el desarrollo de la investigación también puso de manifiesto limitaciones y oportunidades que permiten proyectar nuevas rutas de estudio.

Por un lado, se hace necesario profundizar la exploración del cambio climático en otros grados escolares y en distintos contextos socioeducativos, así como diseñar nuevas UEPS que integren con mayor profundidad diferentes componentes disciplinares que influyen directamente

en la comprensión del fenómeno, como la geografía, la economía, la política, la demografía y la tecnología.

Asimismo, se identifica la necesidad de incorporar en futuras investigaciones enfoques emergentes en la ECC, como la justicia climática, las migraciones asociadas al cambio climático y las desigualdades socioambientales. Estas perspectivas permiten ampliar la comprensión del fenómeno más allá de sus bases científicas, integrando dimensiones éticas, sociales y políticas que resultan fundamentales para una educación ambiental crítica y contextualizada.

Por otro lado, la experiencia mostró que el ASC no sólo resulta pertinente para la enseñanza del cambio climático, sino que también ofrece un marco pedagógico robusto para abordar otras problemáticas socioambientales que comparten características de complejidad, incertidumbre y multicausalidad. De este modo, se abre la posibilidad de extender el enfoque hacia otros fenómenos que requieren pensamiento sistémico, análisis crítico y formación para la acción, tales como, contaminación del aire, del suelo o del agua, crisis hídrica o transición energética.

Estas consideraciones permiten fundamentar líneas futuras de investigación que respondan tanto a la evolución del campo de la educación ambiental y climática como al potencial expansivo del ASC en la formación científica y ciudadana.

A partir de estos hallazgos y proyecciones, surgen diversas preguntas de investigación que pueden orientar el desarrollo futuro del campo y ampliar el alcance pedagógico del enfoque aquí propuesto:

¿Cómo se transforma la alfabetización climática cuando la UEPS se implementa en otros grados escolares de la educación básica o media?

¿Cuál es el aporte de un enfoque interdisciplinario en la comprensión del cambio climático?

¿En qué medida el ASC puede aplicarse eficazmente a otras problemáticas socioambientales complejas, como contaminación del aire, agua o suelo?

¿Cómo influyen las acciones comunitarias guiadas por principios de ASC en la formación crítica y la participación ambiental de los estudiantes?

¿Cómo integrar enfoques de justicia climática en propuestas didácticas basadas en el Aprendizaje Significativo Crítico?

Referencias

- Açıkalın, Ş. N., Sarı, E., & Erçetin, Ş. Ş. (2024). Role of education in awareness on climate change. *Current Perspectives in Social Sciences*, 28(1), 56-63. <https://doi.org/10.53487/atasobed.1454546>
- Agosta Scarel, E., & Cuetos Revuelta, M. J. (2023). Estudio sobre la importancia de la alfabetización climática en la Escuela Secundaria Obligatoria: Un estudio de caso. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 350101–350122. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3501
- Alp, G., & Coşkun Onan, B. (2023). Using comics for climate change in science education: Students' solutions and aesthetic subtleties. *Journal of Baltic Science Education*, 22(2), 215–231. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.215>
- Anyanwu, R., Le Grange, L., & Beets, P. (2015). Climate change science: The literacy of Geography teachers in the Western Cape Province, South Africa. *South African Journal of Education*, 35(3), 1–9. <https://doi.org/10.15700/saje.v35n3a1160>
- Ballantyne, A. G., Wibeck, V., & Neset, T.-S. (2016). Images of climate change—a pilot study of young people's perceptions of ICT-based climate visualization. *Climatic Change*, 134(1–2), 73–85. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1533-9>
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido* (C. Suárez, Trad.; 2.^a ed.). Akal.
- Barrero Montoya, P. A., Ochoa Gómez, A. E., Zapata Valencia, J. A., Cardona Zapata, M. E., & Lopera Pérez, M. (2019). El papel de las TIC en el análisis de la problemática de la contaminación atmosférica. En *Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate* (Vol. 1, pp. 714–723).
- Batista, K. A. A., & Caldas, R. L. (2023). Ensino de eletromagnetismo: Uma proposta didática baseada na modalidade de rotação por estações no ensino médio. *Revista Thema*, 22(1), 316–327. <https://doi.org/10.15536/thema.V22.2023.316-327.3002>
- Bello Benavides, L. O., Cruz Sánchez, G. E., Meira Cartea, P. Á., & González Gaudiano, É. J. (2021). El cambio climático en el bachillerato. Aportes pedagógicos para su abordaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 137–156. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3030>
- Bello Benavides, L. O., Meira Cartea, P. Á., & González Gaudiano, É. J. (2017). Representaciones sociales sobre cambio climático en dos grupos de estudiantes de educación secundaria de España y bachillerato de México. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 22(73), 505–532.
- Betetti Ferreira, É. G., Damasio, F., & Rodrigues, A. A. (2014). Física moderna e contemporânea no ensino fundamental articulada com conceitos de física clássica por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*, 4(1), 29–40.
- Betancur Ramírez, L. M., Pulgarín Naranjo, M. A., & Velásquez Flórez, M. F. (2019). Uso de sistemas de adquisición de datos para el aprendizaje del concepto de color. *Revista Científica*, (1), 140–159.

- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *Active learning: Creating excitement in the classroom*. School of Education and Human Development, George Washington University.
- Boronat-Gil, R., Gómez-Tena, M., & López-Pérez, J. P. (2018). Diseño experimental de un sumidero de CO₂ y sus implicaciones en el cambio climático. Una experiencia de trabajo con alumnos en el laboratorio de Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1202
- Calixto Flores, R. (2015). Propuesta en educación ambiental para la enseñanza del cambio climático. *Revista Electrónica Diálogos Educativos*, 15(29), 54–68.
- Calixto-Flores, R. (2022). Estudiantes del bachillerato y cambio climático. Un estudio desde las representaciones sociales. *Revista Electrónica Educare*, 26(3), 237–255. <https://doi.org/10.15359/ree.26-3.14>
- Canadell, J. G., Monteiro, P. M. S., Costa, M. H., Cotrim da Cunha, L., Cox, P. M., Eliseev, A. V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P. K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S., & Zickfeld, K. (2021). Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 673–816). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>
- Canaza-Choque, F. A., Escobar-Mamani, F., & Huanca-Arohuana, J. W. (2021). Reconocer a la bestia: Percepción de peligro climático en estudiantes de educación secundaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(2), 417–434. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i2.35932>
- Carrascosa-Alís, J., Martínez Sala, S., Alonso Sánchez, M., & Ruiz Ruiz, J. J. (2020). Propuesta didáctica para cambiar las ideas alternativas sobre la contribución de la fusión del hielo al aumento del nivel del mar. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 2(2), 2301. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2020.v2.i2.2301
- Carrascosa-Alís, J., Martínez-Sala, S., Alonso-Sánchez, M., & Ruiz-Ruiz, J.-J. (2022). Análisis de algunas ideas alternativas relacionadas con el cambio climático. *Revista Científica*, 45(3), 296–314. <https://doi.org/10.14483/23448350.17442>
- Cartwright, T. J., Hemler, D., & Magee, P. A. (2021). Investigating weather, climate, and climate change understanding of Appalachian middle-level students. *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 25(2), 6–29.
- Chirone, A. R. da R., Moreira, M. A., & Caballero Sahelices, C. (2021a). Aprendizagem significativa crítica de equações do 2º grau no ensino remoto de uma escola federal brasileira. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 12(6), 1–17. <https://doi.org/10.26843/rencima.v12n6a02>

- Chirone, A. R. da R., Moreira, M. A., & Caballero Sahelices, C. (2021b). Aprendizagem significativa crítica no ensino dos números e seus conjuntos. *Revista Dynamis*, 27(2), 03–19. <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2021v27n2p03-19>
- Christensen, R., & Knezek, G. (2015). The climate change attitude survey: Measuring middle school student beliefs and intentions to enact positive environmental change. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(5), 773–788.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 465–570). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.015>
- Cisterna Cabrera, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61–71.
- Cohen, G., & Moreira, M. A. (2019). Investigando a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o conceito de campo magnético em disciplinas de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 488–505.
- Cook, J. (2022). Teaching about our climate crisis: Combining games and critical thinking to fight misinformation. *American Educator*, 45(4), 12–19, 40
- Covitt, B. A., Parker, J. M., Kohn, C., Lee, M., Lin, Q., & Anderson, C. W. (2021). Understanding and responding to challenges students face when engaging in carbon cycle pool-and-flux reasoning. *The Journal of Environmental Education*, 52(2), 98–117. <https://doi.org/10.1080/00958964.2020.1847882>
- Cruz, N., & Páramo, P. (2020). Educación para la mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina. *Educación y Educadores*, 23(3), 469–489. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.3.6>
- Da Cruz, C. B., Santos, A. R., Rocco, D., Villar, M., & Dos Santos, P. (2021). Aprendizagem significativa crítica no ensino de química: Contribuições de uma sequência didática numa abordagem CTSA no desenvolvimento de percepções sobre drogas inalantes. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(2), 96–125.
- Da Silva, P. D. S., & Da Silva, K. A. (2016). Flexquest cristais: Uma ferramenta potencial no desenvolvimento de uma aprendizagem significativa crítica. En *Anais do 6º Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa* (Vol. 6, p. 10).
- de Benito Crosetti, B., & Salinas Ibáñez, J. M. (2016). La investigación basada en diseño en Tecnología Educativa. *RiiTE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, (0), 44–59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>
- de Melo, P. R. H., Alves, P. V., Bourscheidt, V., & de Camargo, T. S. (2024). Planetary health education: Exploring students' perceptions of climate change in a school in Southern Amazonas. *Challenges*, 15(2), 31. <https://doi.org/10.3390/challe15020031>

- Dos Santos Correia, A. D. dos S., Porto Gonçalves, C., & Matos Castro, L. (2022). Uma proposta de introdução à física moderna no ensino médio por meio do fenômeno de tunelamento quântico. *Experiências em Ensino de Ciências*, 17(3), 63–95.
- Echeverry Franco, S. (2018). *Diseño e implementación de una unidad de enseñanza potencialmente significativa (UEPS) para el aprendizaje de las disoluciones mediante las TIC* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64248>
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933. <https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Falaye, F. V., & Okwilagwe, E. A. (2016). Assessing the senior school students' knowledge, attitude and practices related to climate change: Implications for curriculum review and teacher preparation. *Journal of the International Society for Teacher Education*, 20(1), 43–53.
- Ferreira Matos, G. M., dos Santos, M. L., & Alvarenga, K. B. (2018). Modelagem matemática em atividades sobre a temática do lixo: Relações com a aprendizagem significativa crítica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(1), 70–83.
- Fontana Piffero, E. de L., Puglieri Coelho, C., & Lucchese, M. M. (2020). Proposta de unidades de ensino potencialmente significativa para estudo de fontes de energia. *Research, Society and Development*, 9(7), e17973631. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3631>
- Galeano, J. D. (2022). Videojuegos en la plataforma Erudito: Una alternativa para ejecutar planes de mejoramiento. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 15(29), 129–142. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.15.num29-17706>
- Galeano, J. D. (2023). Aprendizaje significativo de las interacciones ecológicas de la Institución Educativa Barrio Santa Margarita. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 16(30), 142–156. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num30-17826>
- Garbarino, P. (2023). La educación para el cambio climático como herramienta de mitigación. *MLS-Educational Research*, 7(1), 7–23. <https://doi.org/10.2931/mlser.v7i1.1015>
- García-Rodeja, I., & Lima, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 195–218.
- García-Vinuesa, A., Meira-Carteá, P. Á., Caride-Gómez, J. A., & Bachiorri, A. (2022). El cambio climático en la educación secundaria: Conocimientos, creencias y percepciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(2), 25–48. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3526>
- Gavilanes, R. G., & Tipán, B. (2021). La educación ambiental como estrategia para enfrentar el cambio climático. *Alteridad. Revista de Educación*, 16(2), 286–298. <https://doi.org/10.17163/alt.v16n2.2021.10>
- Gebeyehu, D., Dalelo, A., Eshetu, F., Belachew, W., Wodaj, H., Abate, A., & Hagos, M. (2024). Energy-, environmental-, and climate change literacy among primary and middle school

- students. *International Journal of Research in Education and Science*, 10(1), 100–124. <https://doi.org/10.46328/ijres.3330>
- Giraldo, C. (2019). *El aprendizaje basado en proyectos (ABPy) y su aporte al aprendizaje significativo de la electricidad desde una mirada crítica* [Tesis doctoral, Universidad de Burgos]. Repositorio Institucional de la Universidad de Burgos. <https://doi.org/10.36443/10259/5403>
- González Gaudiano, E. J., & Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), 157–174. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>
- González Gaudiano, É. J., Meira Cartea, P. Á., & Gutiérrez Pérez, J. (2020). ¿Cómo educar sobre la complejidad de la crisis climática? Hacia un currículum de emergencia. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(87), 843–872.
- Guisasola, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: Una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Gulis, G., Silva Filho, O. L. da, Ferreira, M., Andrade, V. C. de, & Costa, M. R. M. (2021). Ensino interdisciplinar da fotossíntese: Interfaces entre a aprendizagem significativa crítica e as comunidades de investigação. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(3), 89–116.
- Gutiérrez Sabogal, L. H. (2015). Problemática de la educación ambiental en las instituciones educativas. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, Número Extraordinario, 547–596. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.0num.0bio-grafia547.596>
- Hammel, C., Miyahara, R. Y., & Dos Santos, S. A. (2019). O estudo do espectro eletromagnético: O ensino através de uma sequência didática – UEPS. *Revista Dynamis*, 25(3), 26–37. <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2019v25n3p26-37>
- Heras, F. (2016). Education in times of climate change: Facilitating learning to build a culture of climate protection. *Métode Science Studies Journal*, 6, 65–71. <https://doi.org/10.7203/metode.85.4220>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.
- Higuita, K. (2017). *PPEAA: Política pública de educación ambiental de Antioquia*.
- Henao Hueso, O., & Sánchez Arce, L. (2019). La educación ambiental en Colombia, utopía o realidad. *Conrado. Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 15(67), 213–219.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Informe del estado de los glaciares colombianos 2019.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP), & Cancillería. (2016). *Inventario nacional y*

departamental de gases de efecto invernadero: Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM.

- Infante-Malachias, M. E., & Borges dos Santos, D. (2013). Aprendizagem significativa crítica pela proposição explicativa de analogias através do Modelo Didático Analógico (MDA). *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 8(2), 21–32. <https://doi.org/10.54343/reiec.v8i2.142>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021a). *Cambio climático 2021: Un resumen para todo el mundo*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021b). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jiménez, J., & Moorhead, L. (2021). “Don’t say it’s going to be okay”: How international educators embrace transformative education to support their students navigating our global climate emergency. *Education Sciences*, 11, 593. <https://doi.org/10.3390/educsi11100593>
- Jones, V., Mitra, S., & Gupta, N. (2022). Climate change and sustainability education in India and the place for arts-based practice: Reflections from East Kolkata Wetlands. *London Review of Education*, 20(1), Article 48. <https://doi.org/10.14324/LRE.20.1.48>
- Juuti, K., & Lavonen, J. (2012). Design-based research in science education: One step towards methodology. *Nordic Studies in Science Education*, 2(2), 54–68. <https://doi.org/10.5617/nordina.424>
- Korsager, M., & Slotta, J. D. (2015). International peer collaboration to learn about global climate changes. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(5), 717–736.
- Ladrera, R., & Robredo, B. (2022). SOS: Emergencia climática en las aulas de educación secundaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(3), 44–58. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n3p44>
- Lamar, K. L., & Bolívar, M. T. (2019). Concepciones iniciales sobre la primera ley de la termodinámica a través de la implementación de un proyecto. *Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa*, 4(2), 971–982. <https://doi.org/10.33010/recie.v4i2.339>
- Lehtonen, A., Salonen, A. O., & Cantell, H. (2018). Climate change education: A new approach for a world of wicked problems. In J. W. Cook (Ed.), *Sustainability, human well-being, and the future of education* (pp. 339–374). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78580-6_11
- Leitão, S. (2012). O trabalho com argumentação em ambientes de ensino-aprendizagem: Um desafio persistente. *Uni-pluri/versidad*, 12(3), 23–29.
- Leitão, S., & Damianovic, M. C. (Eds.). (2011). *Argumentação na escola: O conhecimento em construção*. Pontes Editores.

- Lima, R. S. de A., Aquino, K. A. da S., Barros, N. A. de O., Nogueira, R. C., & De Chiaro, S. (2016). A construção da aprendizagem significativa crítica através do uso da argumentação. En *Anais do 6º Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa* (Vol. 6, pp. 102–111). Aprendizagem Significativa/IOC/FIOCRUZ.
- Lopera Pérez, M., & Bolívar, S. M. (2018). Itinerario para la construcción y autoevaluación de mapas conceptuales transdisciplinarios: El caso del cambio climático. *Tecné, Episteme y Didaxis*: TED, (Número extraordinario). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/8974>
- López Ríos, S. (2014). El aprendizaje significativo crítico. *Cuadernos de Pedagogía*, (448), 59.
- López, V. J., & Arias, V. (2019). Aporte de una propuesta de enseñanza basada en aplicaciones móviles para el aprendizaje del movimiento pendular y sistema masa resorte: Estado del arte. *Latin American Journal of Science Education*, 6, 22003. https://www.lajse.org/nov19/2019_22003_2.pdf
- López Ríos, S. Y., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2012). El uso del diagrama AVM como instrumento para la implementación de los principios de la teoría del aprendizaje significativo crítico en actividades de modelación computacional para la enseñanza de la física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(Especial 2), 935–964. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p935>
- López Ríos, S. Y., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2014). La formulación de preguntas en el aula de clase: Una evidencia de aprendizaje significativo crítico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 20(1), 117–132. <https://doi.org/10.1590/1516-731320140010007>
- Marín, C. M. (2019). *La enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional: Una apuesta por aprender ciencia, sobre ciencia y a hacer ciencia* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13718>
- Martínez Salcedo, D. P. (2019). Comprensión del concepto de energía desde el aprendizaje significativo crítico en estudiantes de básica secundaria. *REDHECS: Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 27(14), 204–225.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: Theoretical foundation, basic procedures and software solution*. GESIS – Leibniz Institute for the Social Sciences. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssolar-395173>
- McCright, A. M. (2012). Enhancing students' scientific and quantitative literacies through an inquiry-based learning project on climate change. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 12(4), 86–102.
- Medina Talero, N., & Urazán Benítez, R. (2014). “Ideas para mi mundo”, un espacio de reflexión y socialización de experiencias en la enseñanza de la biología encaminado al aprendizaje significativo crítico: Un abordaje desde la investigación acción. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, edición extraordinaria, 987–995. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.0num.0bio-grafia987.995>

- Medina Talero, N. A., & Benítez Urazán, R. (2015). Elaboración, implementación y evaluación de material didáctico para la enseñanza de las temáticas de genética y evolución en grados noveno en dos colegios rurales de la ciudad de Bogotá. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, número extraordinario, 1471–1487. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.0num.0bio-grafia1471.1487>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional de cambio climático*.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *La formación en ciencias: ¡El desafío!* https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-116042_archivo_pdf3.pdf
- Ministerio de Educación Nacional, & Universidad de Antioquia. (2016). *Derechos básicos de aprendizaje: Ciencias naturales* (Vol. 1). Panamericana Formas e Impresos S. A. <https://www.colombiaaprende.edu.co/contenidos/coleccion/derechos-basicos-de-aprendizaje>
- Ministerio de Educación Nacional, & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2003). *Educación ambiental: Política nacional*.
- Molina González, M., Castro Martínez, E., Molina, J. L., & Castro Martínez, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 29(1), 75–87. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.435>
- Moreira, M. A. (1997). Aprendizaje significativo: Un concepto subyacente. En M. A. Moreira, M. C. Caballero Sahelices, & M. L. Rodríguez Palmero (Eds.), *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo* (pp. 19–44). Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (2005). Aprendizaje significativo crítico. *Indivisa. Boletín de Estudios e Investigación*, (6), 83–102. <https://doi.org/10.37382/indivisa.vi6.379>
- Moreira, M. A. (2010). *Abandono de la narrativa, enseñanza centrada en el alumno y aprender a aprender críticamente*. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43–63.
- Moreira, M. A. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Qurriculum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, (25), 29–56.
- Moreira, M. A. (2017). Aprendizaje significativo como un referente para la organización de la enseñanza. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 11(12), e029. <https://doi.org/10.24215/23468866e029>
- Morote, Á. (2023). Percepción y conocimiento del cambio climático en el ámbito educativo: Una representación social desde la geografía. *Barataria. Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales*, (34), 108–124. <https://doi.org/10.20932/barataria.v0i34.674>
- Morote, Á., & Olcina, J. (2021a). El riesgo de inundación en el contexto actual del cambio climático: Propuestas didácticas para su enseñanza en la geografía escolar. *Papeles*, 13(26), 1–12. <https://doi.org/10.54104/papeles.v13n26.1122>

- Morote, Á., & Olcina, J. (2021a). Riesgos atmosféricos y cambio climático: Propuestas didácticas para la región mediterránea en la enseñanza secundaria. *Investigaciones Geográficas*, (76), 195–214. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18510>
- Moser, A., Pedrozo, D., Kataoka, A., & Torales-Campos, M. (2021). La emergencia climática en la enseñanza de las ciencias: Los conocimientos necesarios para una propuesta de trabajo pedagógico por medio de la educomunicación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(1), 155–171. <https://doi.org/10.35362/rie8714628>
- Mostacedo-Marasovic, S. J., Olsen, A. A., & Forbes, C. T. (2024). Supporting secondary students' understanding of Earth's climate system and global climate change using EzGCM: A cross-sectional study. *Journal of Science Education and Technology*, 33, 178–194. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10067-8>
- Mulero, L., Cunill, J., Grau, M. D., & Mancho, F. (2022). Studying forests in an open schooling project. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 362–378. <https://doi.org/10.3926/jotse.1461>
- Muller, I., & Wood, L. (2021). Raising awareness of agency to address climate change: The Do One Thing (DOT) strategy. *Educational Research for Social Change*, 10(2), 47–62. <https://doi.org/10.17159/2221-4070/2021/v10i2a4>
- Nafisah, D., Setyowati, D., Banowati, E., Priyanto, A., & Hamid, N. (2022). The integration of environmental pollution materials in social studies learning in school for anticipation of climate change. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 12(4), 45–52. <https://doi.org/10.47750/pegegog.12.04.06>
- Navarro, M., Moreno, O., & Rivero, A. (2020). El cambio climático en los libros de texto de educación secundaria obligatoria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(87), 957–985.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Nicholson, S. (2005). Representing climate change futures: A critique on the use of images for visual communication. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(3), 255–273. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.002>
- Nóbrega da Silva, A., Ferst, E. M., & Cândido de Magalhães, A. P. (2023). Análise dos conhecimentos prévios acerca da ideia de resíduos sólidos na perspectiva da aprendizagem significativa crítica no contexto dos anos iniciais. *REAMEC: Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 11(1), e23024. <https://doi.org/10.26571/reamec.v11i1.14521>
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203862001>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them* (Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008). Institute for Human and Machine Cognition. <https://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>

- Obando Melo, V. P., & López Ríos, S. Y. (2021). Aprendizaje significativo crítico asociado a la fotosíntesis en estudiantes de secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Número extraordinario), 2792–2798.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994–1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Perales, J., & Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369–386. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3954>
- Pita-Morales, L. A. (2016). Línea de tiempo: Educación ambiental en Colombia. *Praxis*, 12, 118–125. <https://doi.org/10.21676/23897856.1853>
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (6.^a ed.). Morata.
- Prawat, R. S. (1992). Teachers' beliefs about teaching and learning: A constructivist perspective. *American Journal of Education*, 100(3), 354–395. <https://doi.org/10.1086/444021>
- Reeves, T. (2006). Design research from a technology perspective. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 52–66). Routledge.
- Restrepo, J. D. (2017). Argumentación para un aprendizaje significativo crítico sobre genoma humano en educación básica secundaria. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 10(19), 700–709. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7197>
- Rodríguez, C., Lorenzo, O., & Herrera, L. (2005). Teoría y práctica del análisis de datos cualitativos. Proceso general y criterios de calidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, XV(2), 133–154.
- Romero Mahecha, S. A. (2022). *Diseño de una unidad de enseñanza potencialmente significativa para el aprendizaje del modelo de universo como agujero negro* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
- Roychoudhury, A., Shepardson, D. P., Hirsch, A., Niyogi, D., Mehta, J., & Top, S. (2017). The need to introduce system thinking in teaching climate change. *The Science Educator*, 25(2), 73–81.
- Sánchez Almodóvar, E., Gómez Trigueros, I. M., & Olcina Cantos, J. (2023). Percepción del cambio climático en el alumnado de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). En J. Arnáez Vadillo et al. (Eds.), *Geografía: Cambios, retos y adaptación: Actas del XXVIII Congreso de*

- la Asociación Española de Geografía* (pp. 1661–1670). Asociación Española de Geografía & Universidad de La Rioja. <https://doi.org/10.21138/CG/2023.lc>
- Sanchis Gual, R., Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé López, V. (2018). Creencias sobre tiempo meteorológico, clima y cambio climático en estudiantes de secundaria. *Opción. Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 34(86), 987–1010.
- Sanjosé, V., & Torres, T. (2014). Generación de preguntas sobre información no textual: Una validación empírica del modelo obstáculo-meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias. *Universitas Psychologica*, 13(1), 359–370. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.UPSY13-1.gpin>
- Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: Un cruce fecundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 5–18. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3617>
- Sauvé, L. (2017). Educación ambiental y ecociudadanía: Un proyecto ontogénico y político. *REMEA: Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, 261–278. <https://doi.org/10.14295/remea.v0i0.7306>
- Schauss, M., & Sprenger, S. (2019). Conceptualization and evaluation of a school project on climate science in the context of education for sustainable development (ESD). *Education Sciences*, 9(3), 217. <https://doi.org/10.3390/educsci9030217>
- Schrot, O. G., Peduzzi, D., Ludwig, D., Riede, M., & Keller, L. (2021). Is it possible to build adolescents' cognitive adaptive capacity through climate change education? Insights into a two-year-long educational programme in North Tyrol (Austria) and South Tyrol (Italy). *Climate Risk Management*, 33, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100327>
- Schrüfer, G., Wrenger, K., & Lindemann, I. (2020). “Reflectories” for the promotion of competences in education for sustainable development using the example of climate change. *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, (2), 152–174. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-2-152-174>
- Selby, D., & Kagawa, F. (2013). *Climate change in the classroom: UNESCO course for secondary teachers on climate change education for sustainable development*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000219752>
- Sexton, S. S. (2020). Meaningful learning—David P. Ausubel. In B. Akpan & T. J. Kennedy (Eds.), *Science education in theory and practice: An introductory guide to learning theory* (pp. 163–175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_12
- Shepardson, D. P., & Hirsch, A. S. (2020). Teaching climate change: What educators should know and can do. *American Educator*, 43(4), 44–48.
- Siegner, A. B. (2018). Experiential climate change education: Challenges of conducting mixed-methods, interdisciplinary research in San Juan Islands, WA and Oakland, CA. *Energy Research & Social Science*, 45, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.023>
- Silva, A. L., Melo, W., & de Freitas, A. (2023). Uma proposta para o ensino de calorimetria utilizando a plataforma Arduino em uma sequência didática diversificada. *Revista do Professor de Física*, 7(1), 20–38. <https://doi.org/10.26512/rpf.v7i1.44793>

- Sóñora Luna, F., & García-Vinuesa, A. (2020). Climántica: Un proyecto pedagógico-social y de educación ambiental en la lucha contra el cambio climático. *Pedagogía Social. Revista Interuniversitaria*, (36), 63–79. https://doi.org/10.7179/PSRI_2020.36.04
- Souza dos Santos, V. (2018). Como os gases se comportam? Discutindo as propriedades dos gases com estudantes de ensino superior do interior do estado do Amazonas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Número extraordinario). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/8844>
- Souza, G. F., & Pinheiro, N. A. M. (2018). Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) na pesquisa brasileira: Identificando tendências e traçando possibilidades. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Número extraordinario). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/8775>
- Štemberger, T., & Cencič, M. (2016). Design based research: The way of developing and implementing educational innovation. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 8(3), 180–189. <https://doi.org/10.18844/wjet.v8i3.621>
- Stevenson, R. B., Nicholls, J., & Whitehouse, H. (2017). What is climate change education? *Curriculum Perspectives*, 37(1), 67–71. <https://doi.org/10.1007/s41297-017-0015-9>
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- Torres Carrasco, M. (1998). La educación ambiental: Una estrategia flexible, un proceso y unos propósitos en permanente construcción. La experiencia de Colombia. *Revista Iberoamericana de Educación*, 16, 23–48. <https://doi.org/10.35362/rie1601110>
- UNESCO, & United Nations Framework Convention on Climate Change. (2016). Action for climate empowerment: Guidelines for accelerating solutions through education, training and public awareness. <https://doi.org/10.54675/YQDW3705>
- UNESCO. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- UNESCO. (2020). Educación para el desarrollo sostenible: Hoja de ruta. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>
- UNESCO. (2021). Aprender por el planeta: Revisión mundial de cómo los temas relacionados con el medioambiente están integrados en la educación. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377362>
- UNESCO, & University of Saskatchewan. (2024). Educación y cambio climático: Aprender a cuidar de las personas y el planeta. <https://doi.org/10.54676/YEAZ8343>
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). Introducing educational design research. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 3–7). Routledge.

- Varela, B., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2020). An investigation of secondary students' mental models of climate change and the greenhouse effect. *Research in Science Education*, 50(2), 599–624. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9703-1>
- Velilla Gil, J., Gualart Moreno, C., & Laguna Marín-Yaseli, M. (2021). Materiales educativos para trabajar conceptos sobre desarrollo sostenible en las aulas de educación secundaria. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (27), 55–93. <https://doi.org/10.21138/GF.676>
- Wróblewska, D., & Okraszewska, R. (2020). Project-based learning as a method for interdisciplinary adaptation to climate change—Reda Valley case study. *Sustainability*, 12, 4360. <https://doi.org/10.3390/su12114360>
- Xie, Y., Henry, P. A., Bydlowski, D., & Musial, J. (2014). Linking climate change education through the integration of a kite-borne remote sensing system. *Journal of Technology and Science Education*, 4(3), 120–137. <https://doi.org/10.3926/jotse.113>
- You, H. S., Delgado, C., & Deatley, K. (2021). Experts' model-based reasoning and interdisciplinary understanding of carbon cycling. *International Journal of Research in Education and Science*, 7(2), 562–579. <https://doi.org/10.46328/ijres.1494>
- Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., & Sadler, T. D. (2017). Student development of model-based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio-scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1249–1273. <https://doi.org/10.1002/tea.21404>