



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**VICERRECTORÍA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA -DUAD-  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
DOCTORADO EN EDUCACIÓN**

**CRITERIOS ORIENTADORES PARA LA FORMACIÓN INICIAL DE DOCENTES EN  
CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL: UN ENFOQUE DESDE LAS  
COMPETENCIAS MODELIZADORAS.**

Bibiana Carolina González Ruiz

Bogotá, D.C. mayo 2 de 2025

**CRITERIOS ORIENTADORES PARA LA FORMACIÓN INICIAL DE DOCENTES EN  
CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL: UN ENFOQUE DESDE LAS  
COMPETENCIAS MODELIZADORAS.**

Bibiana Carolina González Ruiz

Directora: Dra. Nelly Yolanda Céspedes Guevara

Codirectora: Dra. Rosa Nidia Tuay Sigua

Tesis para optar el título de Doctora en Educación

Bogotá, D.C. mayo 2 de 2025

Tesis aprobada por:

Directora de la tesis: \_\_\_\_\_

Codirectora de la tesis: \_\_\_\_\_

Jurados:

Nombre y firma: \_\_\_\_\_

Nombre y firma: \_\_\_\_\_

Nombre y firma: \_\_\_\_\_

## Tabla de contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo 1. Planteamiento del problema de investigación</b> .....	<b>17</b>
1.1. Pregunta de investigación .....	21
1.2. Categorías y preguntas complementarias .....	21
1.3. Objetivo general .....	22
1.3.1. Objetivos específicos .....	22
1.4. Justificación del problema y de la investigación .....	23
1.5. Aportes a la línea de investigación. ....	26
<b>Capítulo 2. Estado de la cuestión</b> .....	<b>29</b>
2.1. Fuentes principales: artículos de investigación .....	30
2.1.1. Hallazgos sobre la modelización en Ciencias en Colombia .....	45
2.2. Fuentes secundarias: Tesis Doctorales.....	47
2.3. Fuentes Terciarias: Eventos Académicos .....	54
<b>Capítulo 3. Marcos de referencia</b> .....	<b>64</b>
3.1. Marco teórico .....	64
3.1.1. Paradigmas contemporáneos en la educación en ciencias.....	65
3.1.2. Fundamentos didácticos y formativos en la enseñanza de las ciencias .....	66
3.1.3. Prácticas epistémicas escolares y desarrollo de competencias científicas .....	69
3.1.4. Modelización en ciencias y competencias modelizadoras .....	71
3.2. Marco conceptual .....	73
3.2.1. Educación en ciencias .....	74
3.2.2. Didáctica de las ciencias naturales .....	76
3.2.7. Formación inicial de profesores en ciencias naturales .....	78
3.2.3. Actividad científica escolar .....	81
3.2.4. Modelos en ciencias naturales y educación ambiental.....	83
3.2.4.1. Modelos científicos escolares.....	85

3.2.5. Modelización en ciencias naturales.....	87
3.2.6. Competencias modelizadoras en la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental .....	91
3.2.6.1. Componentes de las Competencias Modelizadoras .....	92
<b>Capítulo 4. Marco metodológico.....</b>	<b>96</b>
4.1. Paradigma .....	96
4.2. Enfoque .....	97
4.3. Método.....	98
4.4. Contexto de la investigación .....	100
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	103
4.6. Ruta metodológica .....	104
4.7. Triangulación de la información .....	105
4.8. Consideraciones éticas e integridad científica en la investigación .....	108
4.8.1. Validación de Instrumentos y Consideraciones Éticas .....	108
4.8.2. Protocolos Éticos Implementados .....	108
4.8.3. Consideración de Conflictos de Intereses.....	109
4.9. Estrategia de recolección de datos.....	110
4.9.1. Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje Modelizadora.....	110
4.9.1.1. Fases del Ciclo de Modelización y Actividades .....	115
4.9.1.3 SEA´s diseñadas por los DFI.....	130
4.10. Estrategia de análisis de datos .....	131
4.10.1. Análisis de datos de la SEA modelizadora .....	133
4.10.2. Análisis de datos obtenidos del cuestionario .....	171
4.10.3. Análisis de las SEA´s diseñadas por los DFI .....	179
<b>Capítulo 5. Discusión de los resultados.....</b>	<b>185</b>
5.1. Hallazgos relacionados con el objetivo específico uno .....	185
5.2. Hallazgos relacionados con el objetivo específico dos .....	190
5.3. Hallazgos relacionados con el objetivo específico no. 3.....	196

5.4. Propuesta de criterios orientadores.....	203
<b>Capítulo 6. Conclusiones .....</b>	<b>209</b>
6.1 Conclusión en torno a la pregunta problema.....	209
6.2. Conclusiones de acuerdo con los Objetivos Específicos .....	210
6.3. Saberes e impacto esperado .....	212
6.4. Recomendaciones y aportes a futuras investigaciones .....	219
6.5. Alcances de la Investigación.....	222
6.6. Limitaciones de la Investigación .....	223
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>226</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ciclo de modelización propuesto por Couso Lagarón (2020).....	88
<b>Figura 2.</b> Fases de la codificación.....	132
<b>Figura 3.</b> Componentes de la competencia de modelización, adaptación de (Couso Lagarón, 2020; Papaevripidou et al., 2014a) .....	115
<b>Figura 4.</b> muestra de algunas páginas del cómic .....	116
<b>Figura 5.</b> Imágenes relacionadas con energía e impacto ambiental.....	116
<b>Figura 6.</b> Matriz analítica de la interpretación de los datos de las actividades 1, 2 y 3.....	135
<b>Figura 7.</b> Distribución de niveles de los DFI de la representación del fenómeno del fracking .....	140
<b>Figura 8.</b> Distribución de niveles de los DFI de la interpretación mecanicista .....	142
<b>Figura 9.</b> Distribución de niveles de los DFI de la interpretación causal.....	143
<b>Figura 10.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo. ....	144
<b>Figura 11.</b> Muestra de modelos gráficos de procesos asociados al Fracking, elaborados por DFI.....	145
<b>Figura 12.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto a la representación de fenómeno del fracking. ....	147
<b>Figura 13.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto a la interpretación mecanicista. ....	148
<b>Figura 14.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto a la interpretación causal. ....	150
<b>Figura 15.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo. ....	151
<b>Figura 16.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto a la descripción de los procesos técnicos asociados al fracking. ....	153
<b>Figura 17.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto a las ventaja y desventajas identificadas, en los procesos asociados al fracking.....	154

<b>Figura 18.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto al impacto ambiental identificado, en los procesos asociados al fracking. ....	156
<b>Figura 19.</b> Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo, en los procesos asociados al fracking.....	157
<b>Figura 20.</b> Interpretación de las competencias modelizadoras .....	168
<b>Figura 21.</b> Secuencia típica que sigue la modelización, luego de la interpretación de datos de DFI.....	177
<b>Figura 22.</b> Esquema de criterios orientadores para la formación inicial docente. ....	204

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Categorías y preguntas de investigación .....	22
<b>Tabla 2.</b> Extracto de la tabla de Excel que ejemplifica la clasificación y codificación de los artículos. ....	32
<b>Tabla 3.</b> Distribución Temporal de Publicaciones sobre Modelización en la Enseñanza de las Ciencias (2002-2024) .....	34
<b>Tabla 4.</b> <i>Principales Revistas de Publicación sobre Modelización en la Enseñanza de las Ciencias (2002-2024)</i> .....	38
<b>Tabla 5.</b> <i>Autores sobresalientes de los artículos analizados</i> .....	39
<b>Tabla 6.</b> <i>Tesis doctorales dedicadas a la modelización en ciencias</i> .....	48
<b>Tabla 7.</b> <i>Metodología y principales instrumentos de recolección de datos utilizados en tesis doctorales</i> . ....	51
<b>Tabla 8.</b> <i>Niveles educativos abordados en las tesis doctorales</i> .....	53
<b>Tabla 9.</b> Ejemplo de registro de las ponencias incluidas. ....	56
<b>Tabla 10.</b> <i>Cantidad de ponencias sobre modelización por año (2001-2023)</i> .....	59
<b>Tabla 11.</b> <i>Ponencias sobre modelización en eventos académicos, clasificadas por país de procedencia principal</i> . ....	60
<b>Tabla 12.</b> <i>Distribución de las ponencias según el tipo de alcance investigativo</i> .....	61
<b>Tabla 13.</b> Componentes de las competencias modelizadoras. ....	92
<b>Tabla 14.</b> Técnicas e instrumentos de investigación .....	103
<b>Tabla 15.</b> Organización metodológica de la tesis .....	105
<b>Tabla 16.</b> Proceso de triangulación .....	106
<b>Tabla 17.</b> Fases del ciclo de modelización para el alumnado y el profesorado .....	111
<b>Tabla 18.</b> Ideas clave sobre energía.....	200
<b>Tabla 19.</b> Nube de palabras y métricas de la aplicación mentimeter .....	256
<b>Tabla 20.</b> Ejemplo de segmentación y codificación actividades 2 y 3. ....	134

<b>Tabla 21.</b> Categorías que integran códigos afines del as actividades 1, 2 y 3 .....	135
<b>Tabla 22.</b> Rúbrica para analizar los niveles emergentes de práctica en la construcción de modelos a partir de las competencias modelizadoras .....	137
<b>Tabla 23.</b> Rúbrica para analizar niveles emergentes de prácticas en la construcción de modelos .....	138
<b>Tabla 24.</b> Rúbrica para analizar niveles emergentes de prácticas en la construcción de modelos gráficos .....	146
<b>Tabla 25.</b> Identificación de ventaja, desventaja e impacto ambiental de los procesos realizados en el fracking. ....	120
<b>Tabla 26.</b> Rúbrica para clasificar los procesos técnicos, identificación de ventajas y desventajas, impacto ambiental y potencial predictivo de los procesos asociados al fracking. ....	152
<b>Tabla 27.</b> Afirmaciones para evaluar el modelo energético de impacto ambiental. ....	123
<b>Tabla 28.</b> Mapa de progresión de las ideas 5, 6 y 7 del currículo operativo de la energía. ....	158
<b>Tabla 29.</b> categorías y subcategorías emergentes de la fase modelizadora 4 y 5. ....	162
<b>Tabla 30.</b> Tabla comparativa de fuentes de energía: Beneficios, Desafíos e impacto ambiental. ....	126
<b>Tabla 31.</b> Matriz de evaluación del análisis de fuentes de energía. ....	165
<b>Tabla 32.</b> Categorías y subcategorías de las respuestas a la pregunta 1 del cuestionario. ....	171
<b>Tabla 33.</b> Actividad del cuestionario .....	129
<b>Tabla 34.</b> Algunos fragmentos de las respuestas escritas y el conjunto de códigos asignados en la codificación abierta: .....	187

## Listado de Anexos

<b>Apéndice A.</b> Concepto del comité de ética, bioética, e integridad científica de la investigación de la Universidad Santo Tomás de Colombia .....	242
<b>Apéndice B.</b> Solicitud de autorización para realizar trabajo de campo .....	243
<b>Apéndice C.</b> Descripción general de la investigación .....	245
<b>Apéndice D.</b> Declaración de conflicto de intereses .....	248
<b>Apéndice E.</b> Protocolo de Confidencialidad .....	249
<b>Apéndice F.</b> Protocolo de Hábeas Data .....	250
<b>Apéndice G.</b> Secuencia de enseñanza - aprendizaje (SEA).....	251
<b>Apéndice H.</b> Cuestionario .....	256
<b>Apéndice I.</b> Registro fotográfico.....	260

## Abreviaturas

<b>ACE:</b>	Actividad científica escolar
<b>MCE:</b>	Modelos científicos escolares
<b>DFI:</b>	Docentes en formación inicial
<b>CM:</b>	Competencias modelizadoras
<b>SEA:</b>	Secuencia de enseñanza – aprendizaje
<b>IES:</b>	Institución de Educación Superior
<b>LCNED:</b>	Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental
<b>UNESCO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
<b>USCO:</b>	Universidad Surcolombiana
<b>UPTC:</b>	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

## Resumen

La modelización científica se reconoce como una práctica epistémica clave en la enseñanza de las ciencias, ya que permite representar, explicar y predecir fenómenos complejos del mundo natural. Su incorporación en la formación inicial docente implica desafíos conceptuales, metodológicos y contextuales que demandan nuevas orientaciones para su implementación. Esta investigación doctoral se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y un paradigma constructivista, mediante un estudio de caso con docentes en formación de Ciencias Naturales y Educación Ambiental. El estudio tuvo como propósito proponer criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos que orienten el desarrollo de competencias modelizadoras en la formación inicial.

Para ello, se analizaron tres dimensiones: las competencias modelizadoras desarrolladas por los participantes, las tensiones didácticas emergentes durante la implementación de prácticas modelizadoras, y la coherencia epistemológica y pedagógica de los diseños didácticos elaborados. Los resultados muestran un desarrollo parcial y fragmentado de las competencias modelizadoras, así como tensiones relacionadas con la resistencia al cambio metodológico, la escasa formación específica y la limitación de recursos. En respuesta, se proponen criterios orientadores que promueven una enseñanza crítica, contextualizada y colaborativa de las ciencias, integrando el pensamiento reflexivo, la interdisciplinariedad, la metacognición y el compromiso con la ciudadanía científica. Se concluye que fortalecer estas competencias en la formación inicial docente es fundamental para avanzar hacia una educación científica más ética, situada y transformadora.

**Palabras clave:** formación de docentes, modelización, enseñanza de las ciencias.

**Abstract**

Scientific modeling is recognized as a key epistemic practice in science education, as it enables the representation, explanation, and prediction of complex natural phenomena. Its integration into initial teacher training presents conceptual, methodological, and contextual challenges that demand new pedagogical orientations. This doctoral research was conducted under a qualitative approach and a constructivist paradigm, through a case study with pre-service teachers in Natural Sciences and Environmental Education. The study aimed to propose pedagogical, didactic, and epistemological criteria to guide the development of modeling competencies in teacher education.

To this end, three core dimensions were analyzed: the modeling competencies developed by the participants, the didactic tensions emerging during the implementation of modeling practices, and the epistemological and pedagogical coherence of the instructional designs they created. The findings reveal a partial and fragmented development of modeling competencies, along with tensions related to resistance to methodological change, limited training, and scarce resources. In response, guiding criteria are proposed to foster critical, contextualized, and collaborative science teaching, integrating reflective thinking, interdisciplinarity, metacognition, and a strong commitment to scientific citizenship. It is concluded that strengthening these competencies in initial teacher education is essential for advancing toward a more ethical, situated, and transformative science education.

**Keywords:** teacher training, modeling, science education.

## Introducción

La educación en ciencias enfrenta hoy desafíos significativos frente al rápido avance del conocimiento, la crisis ambiental global, la desigualdad social y las transformaciones tecnológicas. Estos retos exigen una alfabetización científica sólida, capaz de formar ciudadanos críticos, reflexivos y comprometidos con su entorno. En este contexto, cobra especial relevancia el papel de la escuela como espacio para el desarrollo del pensamiento científico, así como la responsabilidad de los docentes en la formación de nuevas generaciones. La calidad de esta formación depende, en gran medida, de la manera como los futuros profesores comprenden y apropian las prácticas científicas y didácticas que caracterizan el quehacer en ciencias.

Históricamente, la enseñanza de las ciencias se ha centrado en la transmisión de contenidos, lo cual ha limitado la comprensión profunda y situada de los fenómenos. Frente a este modelo tradicional, se han planteado propuestas como la modelización científica, entendida como una práctica epistémica que permite construir, usar, evaluar y revisar modelos para representar, explicar o predecir fenómenos. Esta práctica fomenta habilidades como la argumentación, el razonamiento analógico y la toma de decisiones informadas. Sin embargo, su inclusión en la formación inicial docente presenta tensiones didácticas, epistemológicas y contextuales que requieren ser estudiadas críticamente.

En línea con estas consideraciones, la presente investigación parte del reconocimiento de la modelización como una práctica fundamental para enriquecer la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. El problema central se ubica en la limitada incorporación de dicha práctica en los programas de formación docente, así como en la visión estática y descontextualizada que muchos futuros profesores tienen sobre los modelos científicos. Esta situación limita el potencial transformador de la modelización como herramienta pedagógica. Por ello, se plantea como propósito general proponer criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos que orienten el desarrollo de competencias modelizadoras en la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Desde una perspectiva metodológica, se optó por un enfoque cualitativo, con diseño de estudio de caso, enmarcado en el paradigma constructivista. La investigación se desarrolló con un grupo de docentes en formación de una universidad pública colombiana, mediante la aplicación de técnicas como encuesta, análisis de documentos, observación participativa y revisión de diseños didácticos. La triangulación metodológica permitió integrar diferentes fuentes de información, fortalecer la validez de los hallazgos y construir una comprensión más profunda del fenómeno estudiado.

Entre las limitaciones del estudio se reconoce su alcance contextualizado a dos instituciones y población específica, por lo que no se pretende establecer generalizaciones universales. Sin embargo, sus hallazgos pueden ser transferibles a otros contextos de formación docente en ciencias. El estudio contribuye a cerrar la brecha entre los avances teóricos sobre modelización y su aplicación en la formación inicial, generando propuestas que promuevan una educación científica crítica, ética y transformadora.

La tesis se estructura en seis capítulos. En el capítulo uno se presenta el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, los objetivos, la justificación y los aportes a la línea investigativa. El capítulo dos corresponde al estado del arte, construido a partir de la revisión de artículos, tesis doctorales y eventos académicos. El capítulo tres aborda los marcos de referencia teórico y conceptual. En el capítulo cuatro se desarrolla el diseño metodológico. El capítulo cinco contiene el análisis e interpretación de los resultados, organizados según los objetivos específicos. Finalmente, el capítulo seis recoge las conclusiones, reflexiones finales y los criterios orientadores propuestos.

## Capítulo 1. Planteamiento del problema de investigación

En el contexto actual, los desafíos sociales y ambientales a nivel global han intensificado la necesidad de una educación científica que forme ciudadanos críticos, con capacidades para comprender, actuar y comunicarse científicamente en un mundo en constante cambio. En ese sentido, la educación en ciencias debe avanzar para no solo transmitir contenidos sino, incentivar a los estudiantes en el ejercicio de prácticas científicas auténticas, en línea con una alfabetización científica que propenda por la reflexión y la responsabilidad (Garrido-Espeja, *et al.*, 2021). Lo cual resulta aún más relevante si se consideran las crisis ambientales, las desigualdades sociales y los avances tecnológicos que precisan de soluciones informadas y que se sustenten en principios científicos.

Sin embargo, autores como Lederman y Abell (2014) enfatizan que se mantienen estrategias tradicionales de la enseñanza que se centran explícitamente en contenidos y, por ende, no aportan significativamente al desarrollo de habilidades situadas ni al pensamiento crítico. Marzabal y Vanegas (2021) afirman al respecto que esta situación responde, en parte, a una comprensión descontextualizada de la actividad científica y lejana de lo cotidiano.

Cabe destacar que incluso en instituciones de alto prestigio académico, como la Universidad de Harvard, el enfoque tradicional ha estado presente durante años. Sin embargo, este también ha sido objeto de revisión crítica. Un ejemplo emblemático es el trabajo de Eric Mazur, quien introdujo el enfoque de *peer instruction* para promover una enseñanza más activa y conceptual en física, con el fin de superar las limitaciones del modelo expositivo tradicional. Investigaciones recientes han demostrado que esta metodología mejora la comprensión conceptual y la participación de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias (Cheng, 2024).

Autores referentes como Bonil y Márquez (2011) llamaron la atención sobre el hecho de que los maestros tienden a replicar lo que ellos mismos aprendieron, y que, por extensión, los docentes formados bajo este tipo de estrategias reproducen prácticas similares. En ese sentido,

transformar este panorama se configura como un reto importante en la formación docente (Chamizo y García, 2014). Otras investigaciones, como la de Justi y Figueredo (2014), adicionan que, en este contexto, es importante considerar la resistencia por parte de los docentes; esto se debe, en parte, a la percepción de que su desempeño mejora de manera natural con el paso del tiempo y la acumulación de años de experiencia en el aula. Esta creencia, basada en la repetición continuada de prácticas, puede generar una sensación de suficiencia profesional que dificulta la apertura a nuevas metodologías como la modelización.

Para afrontar esta situación la modelización resulta ser una práctica que es fundamental en estos procesos; la construcción, evaluación y revisión de modelos científicos facilita el entendimiento de conceptos complejos y, a su vez, desarrolla habilidades como la argumentación, el razonamiento analógico y la resolución de problemas (Gilbert y Justi, 2016; Oliva, 2019). Sin embargo, su uso en la enseñanza formal se ve muchas veces limitando por visiones tradicionales que sólo apelan a memorizar teorías y ecuaciones (Cofré et al., 2010) y, en palabras de Chamizo, (2013) y Gutiérrez, (2014) por la falta de entendimiento del conocimiento científico como un proceso dinámico.

Autores como Osborne (2014), exponen que, aunque se reconoce el valor de la modelización para la enseñanza de las Ciencias por su alto potencial para promover el aprendizaje crítico, en la práctica, casi no se incorporan en los programas de formación. Esto es especialmente preocupante, dado que con mucha frecuencia los futuros docentes carecen de oportunidades para vivenciar y, por lo tanto, reflexionar sobre el uso de modelos, lo que incrementa la brecha en el ámbito académico entre la teoría y la práctica (Garrido, et al., 2022; Justi y Gilbert, 2002; Justi y Van Driel, 2005).

La ciencia, es considerada una forma de actividad humana en constante construcción está fundamentada en la observación, el análisis y la explicación sistemática y a la vez reflexiva de los fenómenos naturales. Uno de sus grandes pilares es la creación y, por tanto, el uso de modelos y herramientas que posibilitan la interpretación y hacer predicciones de los comportamientos del

mundo natural. En esa medida, la modelización se configura como un proceso dinámico, no lineal que está profundamente interrelacionado con el progreso del conocimiento científico (Justi et al., 2011).

Como se ha mencionado, los modelos científicos desempeñan un rol fundamental porque facilitan comprender de mejor manera los fenómenos de interés y en este ámbito, el aprendizaje que se centra en la modelización tiene potencial como un enfoque didáctico bastante significativo para promover procesos de pensamiento crítico y creatividad (Oliva, 2019). Tal como se indicó previamente y siguiendo postulados de Halloun (2016), transitar desde los enfoques tradicionales hacia propuestas más constructivistas que estimulen la construcción de conocimiento, no ha sido una tarea fácil dado que, se presentan resistencias tanto inconscientes como conscientes de parte de los docentes.

De esta manera, centrarse simplemente en la repetición y la memorización de contenidos es algo extendido en varios contextos según la UNESCO (2018); opinión que es igualmente compartida por Vázquez-Alonso y Manassero-Mas (2019) quienes añaden que esto dificulta enormemente la implementación de este tipo de metodologías. En línea con lo anterior, Adúriz-Bravo, et al. (2014) hace referencia a la dificultad con respecto al término modelo, ya que presenta varios significados lo que en la práctica es inconveniente para que tanto los docentes como los estudiantes se apropien de qué es y en qué contexto se aplica.

Adicionalmente, uno de los caminos para que evolucionen es el uso de representaciones para crear esos modelos; no obstante, es una tarea compleja, que tiene diversas aristas, y que integra varios elementos; en ese sentido, traducir todos esos conocimientos en el aula ha sido un reto y, por lo tanto, un tema de investigación vigente (Gómez, 2014).

Otro aspecto para considerar en este contexto tiene que ver con la introducción de estas metodologías en el aula; por supuesto que presenta retos particulares que están relacionados con la concepción tanto de los modelos como de la modelización que no siempre corresponden (Schwarz y Gwekwerere, 2007, citado por Espeja et al., 2022).

En línea con lo anterior, también se documenta que el aprendizaje de la modelización requiere de unas competencias por parte de los estudiantes, pero aún no hay claridad sobre cuáles son las necesarias para un aprovechamiento óptimo de esta metodología (Papaevripidou, et al., 2014).

Otra manera de explicar esta problemática es expuesta por Chamizo y García, (2014) quienes exponen que, si los modelos son fundamentales en la comprensión y la construcción de conocimiento científico, en congruencia también deberían tener la misma centralidad en los procesos de enseñanza aprendizaje de la ciencia. Hay otros autores que tienen otra mirada; por ejemplo, Espeja et al. (2022) argumentan que los docentes en formación valoran de manera importante las habilidades que tienen para consensuar el conocimiento por ellos mismos, pero a la vez experimentan la presión y una genuina preocupación por el estatus de científico de sus conclusiones. Desde esta perspectiva las tensiones didácticas que emergen (como el foco en trabajo de memoria) agudizan la dificultad para desarrollar estas competencias modelizadoras.

Aspectos como la sobrecarga de contenidos disciplinares, la ausencia de lineamientos claros sobre la enseñanza basada en modelos o la resistencia al cambio metodológico dificultan la adopción de prácticas de modelización en los entornos escolares (Garrido-Espeja, 2021; Oliva, 2019). En palabras de Cofré et al. (2010), al dejar en segundo plano la reflexión didáctica y epistemológica, la formación de docentes presenta complejidades para incorporar la modelización en sus prácticas; a esta reflexión también se suma Osborne, (2014). El modelamiento de enfoques de enseñanza —que implica la vivencia en primera persona de metodologías activas y reflexivas— se muestra como una vía prometedora para transformar las creencias y prácticas docentes (UNESCO IESALC, 2022; Garrido et al., 2022).

De esta manera, esta investigación plantea promover la participación de futuros docentes en actividades auténticas de modelización, acompañadas de reflexión explícita sobre sus implicaciones pedagógicas y epistemológicas. En este escenario, se hace evidente la necesidad de generar criterios orientadores que aporten a considerar las competencias modelizadoras en el

currículo de formación de docentes y que por extensión atiendan los distintas dimensiones: técnicas, epistemológicas y contextuales (Garrido et al., 2022).

Por lo anterior, la revisión realizada pone de manifiesto un conjunto de limitaciones estructurales, conceptuales y pedagógicas que dificultan la incorporación de la modelización en la formación inicial de docentes en ciencias. Estas limitaciones, junto con las tensiones didácticas identificadas y la necesidad de desarrollar competencias modelizadoras contextualizadas, justifican la formulación de una pregunta de investigación orientada a proponer criterios que contribuyan a superar dichas barreras y a fortalecer el desarrollo profesional docente.

A partir de esta revisión, se deriva la siguiente pregunta central que guía esta investigación:

### **1.1. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son los criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos que contribuyen al desarrollo de competencias modelizadoras en la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, considerando las tensiones didácticas emergentes y la evaluación de sus prácticas científicas?

### **1.2. Categorías y preguntas complementarias**

Con base en la pregunta medular, se definieron una serie de preguntas complementarias que permiten abordar de forma estructurada y detallada las diversas aristas del problema. Estas preguntas se organizaron en tres categorías, cada una centrada en aspectos fundamentales del proceso formativo de los futuros docentes: competencias modelizadoras, tensiones didácticas y prácticas de modelización.

La tabla 1 presenta la correspondencia entre, las categorías analíticas y las preguntas derivadas. Esta articulación busca orientar el análisis e interpretación de los hallazgos en coherencia con los propósitos de la investigación.

Tabla 1

*Categorías y preguntas de investigación*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Categoría</b>	<b>Preguntas de investigación</b>
1	<b>Competencias modelizadoras</b>	¿Cómo se caracterizan las competencias modelizadoras en los docentes en formación inicial de Ciencias Naturales y Educación Ambiental?
2	<b>Tensiones didácticas</b>	¿Qué factores influyen en el desarrollo de competencias modelizadoras durante la formación inicial docente? ¿Cuáles son las principales tensiones didácticas que surgen al implementar prácticas modelizadoras en la formación inicial docente?
3	<b>Prácticas de modelización</b>	¿Cómo perciben los futuros docentes las tensiones entre los enfoques teóricos y las prácticas pedagógicas centradas en la modelización? ¿De qué manera las prácticas de modelización propuestas por los futuros docentes reflejan las competencias adquiridas durante su formación inicial? ¿Qué aspectos de la modelización son más valorados o desafiantes para los futuros docentes al diseñar secuencias de enseñanza-aprendizaje?

Fuente. Elaboración propia.

### 1.3. Objetivo general

Proponer criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos que orienten el desarrollo de competencias modelizadoras en la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, considerando las tensiones didácticas emergentes y la evaluación de las prácticas científicas implementadas.

#### 1.3.1. Objetivos específicos

1. Analizar de manera crítica el desarrollo de las competencias modelizadoras en los docentes en formación inicial de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, identificando los niveles de apropiación alcanzados a partir de las actividades de enseñanza implementadas.
2. Caracterizar las tensiones didácticas emergentes en las prácticas científicas

modelizadoras realizadas por los futuros docentes de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, valorando su impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

3. Evaluar la incorporación de los principios y prácticas de la modelización científica en los diseños didácticos propuestos por los futuros docentes, determinando su coherencia con los fundamentos epistemológicos y pedagógicos de las prácticas modelizadoras.

#### **1.4. Justificación del problema y de la investigación**

La modelización científica ha cobrado creciente relevancia como práctica educativa al facilitar la comprensión de conceptos complejos y potenciar el desarrollo de habilidades científicas y reflexivas en los estudiantes. En el contexto de la enseñanza de las ciencias naturales, este enfoque permite abordar fenómenos como el ciclo del agua, la fotosíntesis o las interacciones ecosistémicas desde una perspectiva interpretativa y dinámica, favoreciendo aprendizajes más significativos.

La modelización se entiende como el proceso mediante el cual se construyen, utilizan, evalúan y revisan modelos para representar, explicar o predecir fenómenos naturales, promoviendo así una aproximación activa al conocimiento científico. Esta práctica no solo implica el uso de modelos ya establecidos, sino también la participación de los estudiantes en la creación y justificación de representaciones que articulan teoría y experiencia, aspecto clave para desarrollar pensamiento científico en los niveles escolares (Justi Y Gilbert, 2002).

La educación científica, en palabras de Porras Contreras et al. (2020), está basada en entender qué es la ciencia y la forma como ella funciona; sumado a lo anterior, está articulada una perspectiva epistemológica que tiene el objetivo de validar este tipo de conocimiento. El marco teórico de la Actividad Científica Escolar (ACE) sustenta esta propuesta, al concebir los Modelos Científicos Escolares (MCE) como versiones didácticamente adaptadas de los modelos científicos consensuados por la comunidad científica (Izquierdo Y Adúriz-Bravo, 2003).

De esta manera, la modelización no solo se orienta a la construcción de explicaciones y predicciones, sino que refuerza la visión de la ciencia como una actividad interpretativa y en continua evolución (Garrido-Espeja, 2016). Las representaciones juegan un papel central: facilitan la comunicación de ideas, permiten la elaboración y revisión de modelos conceptuales y favorecen la consolidación de aprendizajes más significativos y próximos a la realidad (Acher et al., 2014).

Sin embargo, persiste una brecha importante entre las investigaciones realizadas en didáctica de las ciencias y su aplicación en las aulas, lo que dificulta que los hallazgos impacten de manera efectiva a las comunidades docentes (Vázquez-Alonso Y Manassero-Mas, 2019). La formación inicial de profesores se vislumbra como un espacio privilegiado para acortar esta brecha, al permitir la integración de futuros docentes en procesos investigativos que favorezcan el acceso a criterios sólidos y la construcción de prácticas pedagógicas alineadas con las demandas contemporáneas de la educación en ciencias naturales.

Siguiendo el planteamiento de Gess-Newsome (2003, citado en Justi Y Figueiredo, 2014), los conocimientos profesionales de los docentes se consolidan y amplían cuando estos se exponen a experiencias novedosas, las aplican en contextos reales y reflexionan activamente sobre ellas.

En esa línea, esta investigación propone estrategias clave para la formación docente, tales como: (a) involucrar a los futuros profesores en actividades de modelización durante su formación inicial, (b) fomentar la elaboración de secuencias escolares de enseñanza-aprendizaje fundamentadas en la modelización, (c) propiciar la implementación de estas unidades en escenarios escolares auténticos y (d) promover el trabajo colaborativo entre docentes en formación para compartir experiencias y reflexionar colectivamente sobre los resultados.

Estas acciones están orientadas a fortalecer prácticas pedagógicas en ciencias naturales centradas en la comprensión de fenómenos, el uso del lenguaje científico y la toma de decisiones argumentadas. El uso de diversos procesos didácticos se convierte en un recurso clave para

ampliar y enriquecer las prácticas de modelización, siempre que se apele a prácticas pedagógicas adecuadas que conecten los contenidos científicos con las necesidades formativas de los estudiantes (Marino Y Di Cosmo, 2019).

Esto implica reconocer la diversidad de saberes y experiencias que los futuros docentes aportan, así como articular dichos saberes con los lineamientos curriculares del área de ciencias naturales, promoviendo una toma de decisiones didácticas reflexiva y efectiva.

En coherencia con lo anterior, resulta también fundamental valorar los alcances del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias naturales, ya que esta perspectiva brinda al estudiante herramientas para interpretar fenómenos, evaluar información y construir conocimiento propio. La inclusión del pensamiento crítico en las clases de ciencias potencializa el intelecto del estudiantado y transforma la enseñanza escolar tradicional (Tamayo et al., 2015, citado en Ortiz Ibáñez et al., 2024).

Además, la modelización en ciencias permite abordar con facilidad las cuestiones sociocientíficas, tales como el cambio climático, el uso de transgénicos o la transición energética. Gómez (2023) destaca que el trabajo con modelización en estos contextos fomenta la construcción de una visión crítica de la ciencia, así como el uso responsable y ético de la información.

Vázquez Y Manassero (2018) afirman que un primer factor para enseñar a pensar en ciencias es promover el estudio de contextos específicos que ofrezcan oportunidades de pensar críticamente. Conceptos integradores como la energía encuentran en la modelización un enfoque potente para superar obstáculos en su enseñanza y alcanzar comprensiones más profundas (Soto, 2019).

Esta investigación, al explorar cómo se desarrollan las competencias modelizadoras en la formación inicial docente, aporta a la alfabetización científica mediante prácticas que promueven la reflexión, la colaboración y la argumentación científica (Schwarz et al., 2009; Nicolaou Y Constantinou, 2014).

Para la presente investigación, se optó por aplicar una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA), para recolección de datos, el modelo científico escolar seleccionado es el de energía, debido a su carácter integrador, transversal y altamente representativo de los retos conceptuales que enfrentan los docentes en formación. La energía, como idea central en las ciencias naturales, ofrece un terreno fértil para promover la construcción, evaluación y uso de modelos científicos escolares.

Diversos estudios (Soto y Couso, 2023; Oliva, 2019) han demostrado que enseñar energía desde una perspectiva modelizadora permite superar las barreras tradicionales de comprensión, facilitando la articulación entre teoría, práctica y contexto. Además, el modelo de energía posibilita abordar problemáticas sociocientíficas actuales como el cambio climático y las transiciones energéticas, promoviendo una alfabetización científica crítica y comprometida. Por estas razones, se consideró pertinente situar dicho modelo en el centro del diseño didáctico, como medio para potenciar el desarrollo de competencias modelizadoras en los futuros docentes.

### **1.5. Aportes a la línea de investigación.**

La presente tesis doctoral se inscribe en la línea de investigación Pedagogías y Didácticas Emergentes del Doctorado en Educación de la Universidad Santo Tomás, la cual se orienta al análisis, diseño y transformación de prácticas educativas que respondan a los desafíos formativos del siglo XXI. Desde esta perspectiva, la investigación busca contribuir al desarrollo de propuestas pedagógicas que integren innovación didáctica, fundamentación epistemológica y compromiso ético, promoviendo procesos de formación centrados en el ser humano, en su dimensión crítica, social y trascendente.

En coherencia con esta línea, la tesis aporta significativamente al articular las dimensiones epistemológicas, pedagógicas y didácticas en torno a la enseñanza de las ciencias, con énfasis en la formación inicial docente. Se plantea una propuesta que promueve no solo la adquisición de competencias científicas, sino también la reflexión crítica sobre el impacto social del conocimiento escolar y la necesidad de una educación transformadora.

Desde el pensamiento Dominicano Tomista, esta investigación asume la educación como un proceso trascendental que va más allá de la transmisión de saberes, orientándose a la formación de sujetos éticos, libres y comprometidos con el bien común. En este marco, la modelización se concibe no solo como una estrategia de enseñanza-aprendizaje en ciencias, sino como una práctica que potencia el pensamiento crítico, la argumentación, la toma de decisiones informadas y el compromiso social de los futuros docentes. Así, se concreta la visión tomista de un conocimiento al servicio de la humanidad, orientado hacia la verdad, la justicia y la dignidad de la persona.

En diálogo con los enfoques educativos contemporáneos, la investigación responde a los retos actuales de la formación docente frente a problemáticas como la crisis ambiental, la alfabetización científica, el pensamiento sistémico y el desarrollo sostenible. La propuesta de criterios orientadores para la formación inicial en Ciencias Naturales y Educación Ambiental promueve la construcción de un conocimiento escolar situado, ético y contextualizado, que integra aspectos epistemológicos, culturales y sociales.

Se enfatiza una concepción de la ciencia como actividad histórica, colectiva, ética y situada, en la que los futuros docentes, al participar en prácticas de modelización, desarrollan una comprensión más profunda de la naturaleza del conocimiento científico y de su rol como mediadores en la construcción de una sociedad más justa y sostenible. Este enfoque se entrelaza con la tradición tomista al considerar que la educación debe fortalecer no solo la dimensión intelectual, sino también la ética y espiritual del ser humano.

Asimismo, se resalta el valor de los Modelos Científicos Escolares (MCE) como herramientas cognitivas y pedagógicas que promueven el diálogo, la participación y la construcción colaborativa del saber. La modelización, como práctica didáctica emergente, favorece una pedagogía activa, inclusiva y crítica, orientada al respeto mutuo, la deliberación ética y la valoración de la diversidad. La identificación y análisis de tensiones didácticas emergentes contribuyen, además, a pensar la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva

reflexiva y situada, en coherencia con los principios tomistas de humildad intelectual, discernimiento y apertura a la pluralidad.

Finalmente, la investigación ofrece un conjunto de criterios formativos que abarcan las dimensiones epistemológicas, pedagógicas y didácticas en el diseño de prácticas modelizadoras, fortaleciendo la formación inicial docente en ciencias. La incorporación de los principios del Dominicano Tomismo junto con enfoques emergentes de la pedagogía contemporánea consolida una propuesta educativa que impulsa el pensamiento crítico, el compromiso ético y la construcción de conocimiento científico orientado al desarrollo integral de las personas y al cuidado de la casa común.

En síntesis, esta tesis no solo avanza en el campo de la didáctica de las ciencias, sino que fortalece la dimensión humanista de la educación, al integrar la tradición tomista con los desafíos del presente. Con ello, se aporta a la formación de ciudadanos éticos, críticos y comprometidos con la transformación social, reafirmando una visión de la educación como servicio al bien común.

## Capítulo 2. Estado de la cuestión

El presente capítulo estructura el estado de la cuestión donde se describen los hallazgos recientes sobre el tema de interés en fuentes primarias —artículos de investigación— fuentes secundarias —tesis doctorales— y fuentes terciarias —ponencias y congresos especializados-; con el fin de evidenciar en primer lugar, los avances relevantes en el campo y por el otro identificar vacíos y retos en la formación docente, como, por ejemplo, la falencia documentada sobre formación específica de prácticas modelizadoras en pro de la mejora en la comprensión teórica.

De esta manera, se construye un horizonte analítico para interpretar las principales aportaciones, enfoques y tendencias que se han documentado en la literatura reciente sobre modelización y formación docente. Esta revisión documental se fundamenta en las recomendaciones de Booth, Colomb y Williams (2016) y Suri (2020), quienes señalan que un estado del arte no solo organiza el conocimiento existente, sino que permite identificar vacíos, tensiones y direcciones emergentes en una línea de investigación. En ese sentido, se llevó a cabo una revisión documental, que en palabras de Romero (2022), implica un mapeo para proporcionar información a nivel bibliográfico y la descripción de los hallazgos de investigaciones de diversas fuentes.

Como resultado de este proceso de revisión, se constató la importancia de la enseñanza y el aprendizaje de la modelización en ciencias, especialmente en lo que respecta a la formación inicial docente. Asimismo, se identificaron avances significativos en el campo, lo que subraya la relevancia de continuar profundizando en la integración de la modelización como práctica esencial en la didáctica de las ciencias.

## 2.1. Fuentes principales: artículos de investigación

La identificación de las fuentes principales (artículos de investigación publicados en revistas indexadas) se llevó a cabo mediante una búsqueda sistemática en bases de datos académicas como *Scopus*, *Dialnet*, *Redalyc* y *Google Scholar*, con una ventana temporal de 2000 y 2024. El proceso de revisión documental inició con la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave, con el fin de seleccionar los estudios pertinentes y alineados con el tema de interés. Como resultado de este proceso, se concretaron 66 artículos.

De manera particular, el estudio se propuso: (1) Caracterizar la distribución temporal y geográfica de las publicaciones, (2) Identificar los niveles educativos y las poblaciones estudiadas, (3) Examinar las disciplinas científicas predominantes, (4) Organizar la producción académica por país, revista y cantidad de publicaciones, (5) Describir los autores más sobresalientes, (6) Analizar el alcance investigativo, las metodologías, los instrumentos y los hallazgos, (7) Resaltar la importancia de desarrollar competencias de modelización en docentes en formación.

La metodología empleada para la clasificación y codificación de la información constó de varias etapas. En primer lugar, se seleccionaron las fuentes que cumplían con los criterios de inclusión, por ejemplo, publicaciones entre 2000 y 2024 que se enfocaran en *modelos*, *modelización* o *enseñanza basada en modelos*, tanto empíricos como teóricos que tuvieran también relación con la didáctica de las Ciencias, formación docente o en contextos escolares de enseñanza de la Ciencia. Todo se sistematizó en un base de datos de Excel que contenía los siguientes campos: autor(es), título, país, año, palabras clave, nivel educativo, enfoque, disciplina, fenómeno, instrumentos y metodología. En total se organizaron 66 artículos; para la etapa de codificación se agruparon de acuerdo con:

1. Año de publicación.
2. País o región (autoría o lugar de realización).
3. Disciplina científica (biología, química, física, etc.).
4. Nivel educativo y población (primaria, secundaria, formación de docentes, etc.).
5. Alcance investigativo (diagnóstico, intervención, revisión documental, etc.).
6. Metodologías empleadas (cualitativa, mixta o cuantitativa).

La tabla 2 recoge una muestra, con las filas 1 a 5 de la tabla de Excel que recoge la información codificada para cada artículo:

**Tabla 2**

*Extracto de la tabla de Excel que ejemplifica la clasificación y codificación de los artículos.*

#	AUTORES	TITULO	PAÍS	AÑO	PALABRAS CLAVE	RESUMEN	NIVEL	ENFOQUE	DISCIPLINA	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN	REVISTA
1	Rosaria Justi John Gilbert	Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science.	Brasil y Reino Unido	2002	Modelos, modelización, enseñanza de las ciencias, actitudes de los profesores, conocimiento de los profesores.	El artículo investiga las percepciones de los profesores de Ciencias brasileños sobre el uso de modelos y actividades de modelización en la enseñanza de las Ciencias	Educación fundamental (6-14 años), educación media (15-17 años), formación inicial (profesores en formación) y enseñanza universitaria.	Exploración de actitudes y conocimientos de los docentes sobre modelos en la educación científica.	Ciencias naturales (Química, Física y Biología).	Entrevistas semiestructuradas, transcritas y analizadas cualitativamente mediante el software QSR NUD*IST Vivo.	Investigación cualitativa descriptiva.	<i>International Journal of Science Education.</i>
2	Jan Van Driel Nico Verloop	Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education.	Países Bajos	2002	Enseñanza de modelos, modelización, profesores experimentados, enseñanza de las ciencias, educación secundaria.	Este estudio examina el conocimiento de profesores experimentados sobre la enseñanza y aprendizaje de modelos y modelización en educación científica en el contexto de una reforma curricular en los Países Bajos	Educación secundaria (grado 10, estudiantes de 15-16 años).	Exploración del conocimiento práctico y pedagógico de los profesores sobre modelos y modelización.	Ciencias naturales (física, química y biología).	Investigación mixta (cualitativa y cuantitativa).		<i>International Journal of Science Education.</i>
3	Rosaria Justi John Gilbert	Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education	Brasil y Reino Unido	2002	Modelización, formación docente, modelos científicos, enseñanza de ciencias, educación científica.	Este estudio explora las percepciones de los profesores de ciencias brasileños sobre la naturaleza de la	Formación inicial y continua de profesores de ciencias en los niveles fundamental (6-14 años),	Desarrollo de habilidades de modelización y análisis de concepciones docentes sobre la modelización científica.	Ciencias naturales (química, física, biología).	Entrevistas semiestructuradas, transcripciones y análisis cualitativo con QSR NUD*IST Vivo.	Cualitativa exploratoria.	<i>International Journal of Science Education.</i>

		of modellers.				modelización y sus implicaciones para la formación de modeladores	medio (15-17 años) y universitario.						
4	Cañal Pedro	¿Las plantas, fabrican sus propios alimentos? : hacia un modelo escolar alternativo sobre la nutrición de las plantas	España	2004	Modelización escolar, modelo de nutrición en plantas	Se analiza un modelo escolar de uso generalizado, relativo a la nutrición de las plantas, y se argumenta sobre algunas insuficiencias e incoherencias de este	Educación secundaria	Argumentación sobre incoherencias e insuficiencias del modelo	Biología: Nutrición de las plantas	Análisis de modelos	de	Cualitativo	Enseñanza de las ciencias
5	Barbara Crawford Michael Cullin	Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science	Estados Unidos	2004	Modelización, formación docente, enseñanza de ciencias, aprendizaje basado en modelos, software educativo.	Este estudio exploró cómo un módulo instruccional basado en modelización influye en las concepciones de profesores de Ciencias en formación sobre los modelos científicos	Formación inicial de profesores de secundaria (grados 7° a 12°).	Formación docente centrada en la modelización científica y el uso de software educativo.	Ciencias naturales (Biología, Física, Química, Ciencias de la Tierra y del espacio).	Cuestionarios abiertos, entrevistas semiestructuradas y análisis de artefactos del aula.		Estudio cualitativo	<i>International Journal of Science Education.</i>

*Fuente.* Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de esta revisión, junto con la correspondiente discusión.

**Distribución temporal de las publicaciones:** El corpus de investigación sobre modelización en la enseñanza de las ciencias, de acuerdo con los artículos revisados, puede clasificarse en cuatro etapas diferenciadas. Si bien la búsqueda inicial abarcó el periodo comprendido entre los años 2000 y 2024, las publicaciones que cumplieron con los criterios de inclusión corresponden al intervalo 2002–2024 (ver Tabla 3). Dentro de este marco temporal, es posible identificar cuatro momentos clave que reflejan la evolución y consolidación del campo investigativo en torno a la modelización en contextos educativos.

**Tabla 3**

*Distribución Temporal de Publicaciones sobre Modelización en la Enseñanza de las Ciencias (2002-2024)*

<b>Año</b>	<b>Cantidad de Publicaciones</b>
2002	3
2004	2
2005	2
2007	2
2008	1
2009	3
2010	1
2011	1
2012	2
2013	6
2014	6
2015	2
2016	6
2017	3
2018	3
2019	5
2020	4
2021	3
2022	3
2023	2
2024	6

*Fuente:* Elaboración propia.

Fase inicial (2002-2008): Entre 2002 y 2005 se registran pocos trabajos (entre 1 y 3 publicaciones por año). Posteriormente, en 2007–2008, también se mantiene un número reducido (2 en 2007, 1 en 2008). Los primeros artículos se concentran en la formación docente (Justi y Gilbert, 2002a, 2002b; Van Driel y Verloop, 2002) y en la introducción de la modelización en Biología (Felipe et al., 2005) o Botánica (Cañal, 2004). Se enfatiza la necesidad de una mayor integración de los modelos en la práctica real de aula. Por ejemplo, Justi y Gilbert (2002a, 2002b) y Van Driel y Verloop (2002) ponen de presente que muchos profesores valoran los modelos en teoría, pero no los aplican con eficacia. Estas investigaciones destacan, por un lado, la falta de estrategias para la enseñanza basada en modelos y, por otro, la centralidad que tiene el argumento de formar a futuros profesores en competencias modelizadoras.

Consolidación moderada (2009–2012): Se observa un ritmo moderado (por ejemplo, 3 publicaciones en 2009, 2 en 2012, etc.). Esta etapa enlaza con la clasificación de algunos autores que sitúan la consolidación hasta 2012 o 2013. Aparecen trabajos que relacionan las reformas curriculares con el cambio en la visión desde lo individual por parte de los docentes sobre la modelización (Henze et al., 2007; Lopez y Costa, 2007). Asimismo, se publican estudios sobre la evaluación de competencias de modelización (Lopez y Costa, 2007; Poliana y Justi, 2009;). Se consolida el interés por la formación docente en Química (Merino y Izquierdo, 2011), la introducción de modelos teóricos escolares (Izquierdo y Merino, 2009) y las primeras intervenciones didácticas que incluyen la dimensión metacognitiva (Villalba-Baza y Tamayo, 2012).

Expansión (2013–2016): Se registran los años con mayor número de artículos: 6 en 2013, 6 en 2014 y 6 en 2016, lo cual evidencia un salto cuantitativo. Coincide con el auge de la enseñanza basada en competencias científicas, donde la modelización se integra con otras prácticas (indagación, argumentación). Destacan intervenciones didácticas que combinan la

construcción de modelos, las ideas previas y la reflexión en estudiantes de secundaria (Aragón et al., 2014; Orrego y López, 2014) o futuros docentes (Garrido Espeja y Couso, 2017). Algunos estudios refuerzan el papel de la investigación basada en diseño (DBR) para refinar secuencias de modelización en Química y Biología (Danusso et al., 2010; Moreno-Arcuri y López, 2013).

Tendencias recientes y proyección (2017–2024): Del 2017 en adelante, la producción se mantiene estable (3, 3, 5, 4, 3, 3), y en 2024 se registra nuevamente un pico de 6 artículos. Aparecen nuevas perspectivas como la interdisciplinaridad (Física-Música, Química-Biología, Ecología) y la modelización basada en tecnología (p. ej., *software SageModeler* para la evaluación de competencias metamodeladoras (Cheng et al., 2015; Oliveira y Peticarrari, 2022). Se observa mayor atención a la formación continua de profesores (Furci y Adúriz-Bravo, 2024; Vo et al., 2019), así como estudios que combinan la dimensión metacientífica y la enseñanza basada en modelos (Soto y Couso, 2023). Entre los trabajos más recientes, destacan aquellos que profundizan en el modelo de energía (Soto y Couso, 2023) o la integración de la realidad aumentada (Merino Rubilar y García-Martínez., 2023) y los análisis de competencias modelizadoras en futuros docentes (Garrido Espeja et al., 2022; Soto et al., 2024).

**Distribución geográfica:** El panorama geográfico se compone de España con 21 referencias, investigaciones lideradas por departamentos universitarios especializados en la didáctica de las ciencias (p. ej., Universidad de Extremadura, Universidad de Murcia, Universidad de Huelva, Universidad de Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, etc.). Se observan varios proyectos de colaboración interna e internacional (Costillo et al., 2014; Izquierdo y Merino, 2009; Soto y Couso, 2023).

Chile (11): Destaca la Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad de Santiago de Chile y otras instituciones que han abordado la modelización en contextos de Física (energía, sonido) (Soto et al., 2017; Soto et al., 2024) en la caracterización de la evolución de los modelos sustancia y cambio químico (Marzabal et al., 2018; Marzabal et al., 2021; Marzabal et al., 2024)

y en la noción de modelo y modelización en el desarrollo de competencias metacientíficas, caracterización semanticista de los modelos (Ariza y Adúriz-Bravo, 2014; Ariza, 2021).

Colombia (9): Estudios con fuerte énfasis en la Biología (respiración, fermentación, inmunología), así como en la exploración de concepciones y estrategias de enseñanza en formación docente (Navia y Tamayo, 2018; Orrego y López, 2019; Tamayo y Orrego, 2014).

Brasil (5), México (5) y Argentina (5): Se abordan tópicos como la química del cambio, la educación ambiental, la anatomía humana y la enseñanza de la evolución (Bahamonde, et al., 2020; Moreno-Arcuri y López, 2013).

Estados Unidos (6): Investigación más orientada a “*model-based inquiry*”<sup>1</sup> (Crawford y Cullin, 2004; Gray y Rogan-Klyve, 2018).

Otros países de Europa y Asia (Países Bajos, Italia, Portugal, Alemania, Israel, Taiwán) aparecen en menor número, pero con aportes importantes en la metamodelización, la evaluación de competencias y la reforma curricular (Engelschalt et al., 2024; Henze et al., 2007; Tasquier, et al., 2016; Van Driel y Verloop, 2002;).

**Distribución de la producción académica por revista:** La Tabla 4 presenta un panorama de las principales revistas en las que se publicaron los artículos que conforman la muestra. Sobresalen títulos con un alto número de contribuciones, como *International Journal of Science Education* (IJSE) y *Enseñanza de las Ciencias*, que concentran la mayor cantidad de publicaciones, con 20 y 19 artículos, respectivamente. Estas revistas destacan por su tradición en la investigación sobre la formación docente y la enseñanza de las Ciencias, lo que explica su frecuencia predominante en la muestra. Asimismo, es notable la contribución de revistas iberoamericanas como *Biografía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza* (8 artículos), *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (5 artículos) y *Tecné, Episteme y Didaxis*

---

<sup>1</sup> Investigación basada en modelos, que trabaja la comprensión de cómo los científicos utilizan los modelos

(3 artículos). Este patrón destaca la activa producción científica en el ámbito hispanohablante sobre la didáctica de las Ciencias.

**Tabla 4**

*Principales Revistas de Publicación sobre Modelización en la Enseñanza de las Ciencias (2002-2024)*

Revista	Cantidad de artículos
International Journal of Science Education	20
Enseñanza de las Ciencias	19
Biografía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza	8
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	5
Tecné, Episteme y Didaxis	3
Revista Latinoamericana de estudios educativos	2
Revista Ensaio	2
Revista Psicodidáctica	1
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	1
Educación Química	1
Ciencia y Educación	1
Educação e Pesquisa	1
Revista Iberoamericana de Educación	1
Revista de Educación Científica	1

*Fuente:* Elaboración propia.

**Autores sobresalientes:** A continuación, se presentan en la tabla 5 los autores que han aparecido más de una vez en la recopilación de 66 artículos sobre modelización en la enseñanza de las Ciencias (ver tabla 5). La tabla recoge el número total de artículos en los que cada autor/a participa, y va seguida de un breve análisis sobre su relevancia y contribuciones destacadas al campo.

**Tabla 5**

*Autores sobresalientes de los artículos analizados.*

<b>Autor/a</b>	<b>Número de artículos</b>	<b>Ejemplo de obras representativas</b>
Macarena <u>Soto</u>	6	Soto y Couso (2023)
Rosaria Justí	5	Justí y Gilbert (2002), Justí y Mendonça (2013)
Digna Couso	5	Garrido-Espeja y Couso (2017), Soto et al., (2017)
Óscar Tamayo	5	Villalba Baza y Tamayo (2012), Tamayo y Orrego (2014)
Jan Van Driel	3	Van Driel y Verloop (2002), Justí y Van Driel (2005)
Mercé Izquierdo	3	Izquierdo y Merino (2009), Merino y Izquierdo (2011)
Alma Gómez	3	Bahamonde y Gómez (2016); Gómez (2013)
Mariona Espinet	3	Ramos de Robles y Espinet (2013), Moraga y Espinet (2024)
Noa Ageitos	3	Ageitos y Puig (2016), Ageitos, et al., (2016)
Blanca Puig	3	Ageitos y Puig (2016), Aznar Cuadrado y Puig (2016)
Agustín Adúriz-Bravo	3	Paz, et al. (2008), González y Meinardi (2018)

*Fuente:* Elaboración propia.

**Nota.** Se han considerado todos los artículos en los que figuren como coautores. La columna *Ejemplo de obras representativas* indica algunos estudios para ilustrar la contribución de cada autor, no necesariamente todas sus apariciones.

#### **Destacan cuatro autores/as con 6 a 5 artículos cada uno:**

*Macarena Soto:* Centrada en la enseñanza de la energía y en la formación inicial de docentes de física en Chile, trabaja de cerca con Digna Couso en la implementación de secuencias de modelización y análisis del proceso de aprendizaje en diferentes niveles educativos (Soto y Couso, 2023).

*Rosaria Justí:* Principalmente reconocida por sus trabajos sobre la naturaleza de los modelos científicos y la formación docente en Brasil, con frecuentes coautorías junto a John Gilbert y Jan Van Driel. Sus aportes se centran en comprender cómo los profesores desarrollan y aplican los modelos en el aula de Ciencias (Justí y Gilbert, 2002; Justí y Mendonça, 2013).

*Digna Couso:* Investigadora con una vasta producción en didáctica de las Ciencias en España. Se ha enfocado en cómo fomentar la competencia de modelización y en el diseño de secuencias didácticas orientadas al pensamiento científico y la construcción de modelos (Garrido Espeja y Couso, 2017; Soto et al., 2017).

*Óscar Tamayo*: Investigador colombiano cuya línea de trabajo se vincula con la enseñanza de la Biología y el estudio de los modelos explicativos del estudiantado sobre procesos vitales (respiración, inmunidad, etc.), de igual manera se ha interesado por la formación inicial docente y el uso de metodologías cualitativas en didáctica de las Ciencias (Tamayo y Orrego, 2014).

### **Autores con 3 artículos**

*Jan Van Driel*: sus estudios abordan el conocimiento docente sobre la enseñanza de modelos y la concepción de la naturaleza de la Ciencia (van Driel y Verloop, 2002). Ha colaborado con investigadoras como Rosaria Justi y Nico Verloop, centrándose en reformas curriculares y desarrollo profesional.

*Mercé Izquierdo*: Figura relevante en el ámbito iberoamericano de la didáctica de la Química, enfocada en la integración de los aspectos epistemológicos y cognitivos en el aula. Ha publicado sobre la enseñanza de la materia y el cambio químico (Izquierdo y Merino, 2009).

*Alma Gómez*: Orientada a la didáctica de la Biología, con énfasis en representaciones, explicaciones y narraciones científicas en los procesos de modelización (Gómez, 2013).

*Mariona Espinet*: Contribuye al desarrollo de propuestas de investigación-acción y socioconstructivismo en contextos de formación docente, su interés académico ha estado en el papel de la modelización en el aprendizaje y la argumentación (Ramos de Robles y Espinet, 2013).

*Noa Ageitos y Blanca Puig*: Ambas trabajan conjuntamente en la elaboración de unidades didácticas en Biología/Genética que integran prácticas de argumentación y modelización (Ageitos y Puig, 2016).

*Agustín Adúriz-Bravo*: Reconocido por el desarrollo de enfoques epistemológicos aplicados a la educación científica, analiza cómo la historia de la ciencia y la filosofía pueden enriquecer la enseñanza basada en modelos (González, et al., 2018; Paz, et al., 2008).

**Niveles educativos y poblaciones:** Educación Secundaria (23 estudios), es la etapa más investigada. Se exploran estrategias de modelización en Física (energía, magnetismo, calor), Química (reacciones, equilibrio) y Biología (respiración, nutrición, genética). Los adolescentes presentan tanto potencial para desarrollar modelos como resistencias conceptuales (p. ej., confundir fotosíntesis con respiración en Botánica).

Formación Inicial de Profesores (20 estudios), gran interés por la evolución del conocimiento profesional sobre modelización y la construcción de propuestas didácticas por parte de futuros maestros. Autores como Henze et al. (2007), Garrido-Espeja y Couso (2017) y Soto y Couso (2023) describen cómo la experiencia de diseñar, implementar y analizar actividades de modelización favorece la transformación de las concepciones iniciales.

Universitarios (8 estudios) Incluye investigaciones con estudiantes de pregrado (carreras de Ciencias, enfermería, medicina) y posgrado (maestría en didáctica de Ciencias) que profundizan en cuestiones como la modelización de procesos celulares, energéticos o ecológicos (Fackler y Capps, 2024; Justi y Gilbert, 2002b; Tasquier et al., 2016).

Profesores en servicio (6-8 estudios) Abordan la formación continua y el desarrollo profesional mediante talleres, acompañamiento en aula e Investigación-Acción (Furci y Adúriz-Bravo, 2024; Vo et al., 2019).

Primaria e Infantil (5-6 estudios), Menor representación, si bien hay propuestas interesantes que apuntan a introducir la modelización con niños, enfocándose a menudo en fenómenos básicos (sistema circulatorio, germinación de semillas, etc.) (Bamberger y Davis, 2013; Villaseñor, de Alba, y Ramos de Robles, 2020).

### **Disciplinas científicas predominantes**

Biología (20 artículos) Se observa un notable interés por la enseñanza de procesos biológicos fundamentales (p. ej., respiración, fotosíntesis, nutrición, inmunología) y la incorporación de la modelización para clarificar las relaciones entre estructura-función en los organismos vivos.

Temas como genética, biología celular y fermentación se trabajan en profundidad, lo que implica tanto la formación inicial docente como la educación secundaria (Ageitos y Puig, 2016; Orrego et al., 2019; Tamayo y Orrego, 2014).

Química (18 artículos) La enseñanza de cambio químico, equilibrio, enlace iónico y transformaciones de la materia, se destacan como uno de los énfasis de preferencia. Se examinan, sobre todo, las dificultades conceptuales del estudiantado y la necesidad de secuencias didácticas que promuevan la modelización submicroscópica, la argumentación y la indagación (Aragón, et al., 2014; Izquierdo y Merino, 2009; Maia y Justi, 2009; Marzabal, 2021).

Física (14 artículos) El modelo de energía (conservación, transferencia y degradación) es uno de los ejes recurrentes, especialmente en la formación de docentes de secundaria (Soto y Couso, 2023). También se aborda la mecánica (movimiento, fuerzas), los fenómenos ondulatorios (ondas de sonido, luz) y el magnetismo, con énfasis en la evaluación de competencias de modelización (Cheng et al., 2015).

Multidisciplinar / General (9 artículos) Comprende estudios en los cuales la modelización se presenta como práctica transversal a varios temas de ciencias naturales (biología-química-física) o se enfoca en aspectos pedagógicos y epistemológicos sin centrarse en un contenido disciplinar específico. Frecuentemente, estos trabajos examinan la formación inicial docente de forma más completa o la introducción simultánea de conceptos de biología, química y física en proyectos interdisciplinarios.

Ciencias de la Tierra (5 artículos) Abarca investigaciones sobre deriva continental, tectónica de placas y fenómenos astronómicos como mareas, lo que destaca la necesidad de modelar sistemas geológicos y astronómicos (Armario, et al., 2021; Doménech-Casal, 2015). Estas propuestas están mayormente relacionadas con la enseñanza de la geología y la astronomía en la educación secundaria; se combina el análisis de evidencias (distribución de fósiles, sismicidad) con la construcción de modelos explicativos.

**Enfoques metodológicos e instrumentos más usado:** La mayoría de las investigaciones analizadas se ubica en un enfoque cualitativo (60-70%):

- Estudios de caso: (profundización en un aula o un pequeño grupo de estudiantes).
- Diarios de campo, portafolios, entrevistas semiestructuradas y análisis de secuencias didácticas.
- Observaciones de clase con o sin grabaciones de video para examinar la interacción discursiva durante la construcción o revisión de modelos (Gray y Rogan-Klyve, 2018; Moreno-Arcuri y López-Mota, 2013).

Aproximadamente entre el 20-25% se clasifican como estudios mixtos; se combinan cuestionarios (tipo Likert o pre-post) con entrevistas o análisis cualitativos (Danusso et al., 2010; Jiménez-Liso et al., 2021). Se encuentra un porcentaje inferior al 5% de investigaciones de corte experimental y también aparece la investigación-acción (Avendaño-Páez et al., 2022), relevante para la formación continua de docentes.

En cuanto a la recolección de datos, se repiten:

- Cuestionarios (abiertos, cerrados, pre-post) para evidenciar cambios en las concepciones o percepciones sobre la modelización.
- Entrevistas (profundizar en las percepciones de estudiantes y docentes).
- Producciones gráficas (dibujos, diagramas de modelos), maquetas, relatos escritos y portafolios (muy populares en estudios de Biología e Infantil).
- Registros audiovisuales para analizar discursos, argumentaciones o procesos de negociación en torno a la elaboración de modelos (Bellocchi et al., 2014; Garrido-Espeja y Couso, 2017).

**Alcance investigativo de la producción académica en modelización:** La literatura revisada da cuenta de un amplio espectro de aproximaciones y espacios educativos, lo que destaca la diversidad y la amplitud con que se ha abordado la modelización en Ciencias. De esta forma un gran número de estudio han tenido como foco la formación inicial y continua de

docentes; también destaca la importancia de la implementación sistemática de modelización para favorecer una mejor comprensión de los fenómenos científicos y por esa vía el desarrollo de competencias profesionales. Esta línea de investigación explora varios temas relacionados con el cambio conceptual y la argumentación científica en los futuros docentes y, además la integración de secuencias didácticas específicas que promuevan una mejor indagación y reflexión metacognitiva.

Ahora bien, otra gran parte de la producción académica da cuenta de un interés creciente por diseñar y evaluar estrategias que trasciendan la mera reproducción de modelos científicos, con el propósito de promover la construcción activa y la reelaboración de modelos para explicar o predecir fenómenos. Esta mirada prioriza la combinación de metodologías cuantitativas y cualitativas —algunas veces en diseños mixtos— que permiten aproximarse tanto a los cambios en la comprensión conceptual (por medio de pretest-postest o cuestionarios tipo Likert) como a las transformaciones discursivas y argumentativas propias de la práctica de modelar (a través de análisis de entrevista o videograbaciones de clases). De igual manera, es notable el interés por la vinculación de la modelización con temáticas de educación ambiental y resolución de problemáticas socio-científicas para ampliar las aplicaciones posibles.

En este contexto, el alcance investigativo de la modelización se evidencia en tres principales tendencias:

1. Reformas curriculares y desarrollo profesional: en algunos estudios se proponen lineamientos formativos y marcos epistemológicos que tratan de enmarcar la actualización de programas de estudio y también las normativas relativas a la educación con el fin de integrar la modelización como práctica transversal en el currículo de Ciencias Naturales.
2. Innovación didáctica en el aula: un gran número de aportes está centrado en secuencias pedagógicas, proyectos interdisciplinarios y estrategias que trabajan la modelización como un eje central en la experiencia de aprendizaje, teniendo como base que contribuye a la motivación y por esa vía al compromiso de los estudiantes.

3. Profundización teórica y evaluación de competencias: el desarrollo de herramientas de análisis y evaluación, unido al avance de marcos conceptuales sobre los modelos, la argumentación científica, deja en evidencia el fortalecimiento de las bases teóricas para comprender de mejor forma tanto los procesos de enseñanza como de aprendizaje específicamente en Ciencias.

Finalmente, la producción académica pone de relieve la evolución del campo de investigación que trabaja desde el diseño de intervenciones y la evolución de competencias hasta la reflexión de marcos explicativos en la Ciencia en el ámbito educativo. Lo anterior, es relevante para entender el argumento de que la modelización no sólo aporta a un aprendizaje eficaz, sino que sirve de marco conceptual para abordar la enseñanza de las Ciencias, al jalonar la experiencia de docentes y estudiantes frente a una experiencia genuina pensando y actuando como científicos.

### ***2.1.1. Hallazgos sobre la modelización en Ciencias en Colombia***

Durante el rastreo documental de la producción académica sobre modelización en la enseñanza de las Ciencias en Colombia se evidencia un creciente interés por comprender y fortalecer las prácticas docentes referidas a la construcción y uso de modelos científicos. En su mayoría, los trabajos nacionales analizados se ubican tanto en educación secundaria como en formación inicial docente, lo que pone de relieve la preocupación de investigadores por propiciar metodologías de aula, enfocadas en favorecer la participación de los estudiantes y por esa vía el desarrollo de capacidades científicas avanzadas. En este sentido, varios estudios (p. ej., Moreno Arcuri y López-Mota, 2013; Tamayo y Orrego, 2014;) destacan el papel de la modelización como eje fundamental para promover un aprendizaje más abarcador de algunos fenómenos biológicos, químicos o ambientales, y en paralelo robustecer la reflexión docente acerca de cómo guiar procesos de construcción de conocimiento en el aula.

Como grandes similitudes en la literatura colombiana se encuentra la aproximación cualitativa a tópicos de interés en el contexto educativo. Lo anterior está muy centrado en

caracterizar las concepciones y los modelos explicativos que desarrollan los estudiantes. Por ejemplo, se han investigado las representaciones iniciales de los futuros profesores sobre la respiración o la nutrición vegetal (Tamayo y Orrego, 2014), así como sus experiencias al diseñar secuencias didácticas basadas en la argumentación y la indagación (Villalba Baza y Tamayo, 2012). Estas líneas de trabajo ponen en evidencia varios obstáculos conceptuales recurrentes, la igual que tensiones didácticas que podrían dificultar la implementación efectiva de la modelización en el aula. Se pueden enumerar la falta de claridad epistemológica, la tendencia a emplear estrategias expositivas o el escaso tiempo asignado a la discusión y evaluación de modelos.

En contraste con otros estudios, las investigaciones revisadas también muestran cómo la intervención pedagógica tiene potencial para transformar las concepciones de estudiantes y docentes, mejorando la motivación para que ellos reelaboren explicaciones y se familiaricen con la naturaleza iterativa de los modelos. Un punto de especial interés es la conexión entre la construcción de modelos y el análisis de fenómenos del entorno colombiano, ya sea desde una perspectiva socioambiental —como la contaminación o el uso de recursos naturales— o desde problemas científicos específicos, lo que claramente refuerza la pertinencia de la modelización para contextualizar y dar significado al aprendizaje.

Bajo este hilo argumentativo, trabajar las competencias modelizadoras en la formación de profesores en Colombia es visto como un objetivo prioritario para la didáctica de las Ciencias. En primer lugar, fortalece la comprensión disciplinar de los futuros educadores, quienes precisan de afianzar tanto lo teórico como lo práctico para analizar, diseñar y comunicar modelos científicos que den cuenta de los hechos en los planes y programas de educación básica y media. En segundo lugar, al introducir la modelización como práctica habitual en la dinámica del aula, se trabaja el pensamiento crítico y la exploración científica en los estudiantes. Esto genera experiencias de aprendizaje un poco más cercanas a la investigación real y contribuye a la

formación de ciudadanos con capacidad de comprender y participar de manera reflexiva en los retos científicos y ambientales del país.

En síntesis, la evidencia colombiana revisada demuestra que la adopción de enfoques basados en la creación y uso de modelos científicos impacta positivamente en la formación de docentes, ya que, fomenta la integración entre teoría y práctica, la aproximación reflexiva a los contenidos curriculares y la consolidación de escenarios colaborativos; de igual manera acerca a profesores y estudiantes para construir de manera conjunta el significado que tienen de los fenómenos naturales. Como se ha mencionado, esta ruta —impulsar el desarrollo de competencias modelizadoras— es esencial para consolidar una enseñanza de las Ciencias más activa, contextualizada y coherente con los desafíos educativos que enfrenta el país en la actualidad.

## **2.2. Fuentes secundarias: Tesis Doctorales**

Con respecto a las fuentes secundarias, se desarrolló una revisión documental con una ventana de observación del 2000 al 2024, en base de datos especializadas para la búsqueda de tesis doctorales. Se emplearon entre ellas: *Dialnet*, TESEO, OATD, DART y TDX, con palabras clave en este contexto: Modelos y modelización en la enseñanza de las Ciencias. En un segundo momento, se sistematizó en una hoja de Excel con las columnas de información pertinente como el título, autor, año, universidad y país. posteriormente, el alcance investigativo y, por último, los contextos de formación y niveles educativos. A continuación, se describen los resultados del análisis de las fuentes secundarias de acuerdo con los elementos de análisis que se mencionaron previamente.

**Reporte de los trabajos doctorales:** En la tabla 6 se muestran las tesis doctorales que trabajan los modelos y modelización en la enseñanza de las Ciencias, lo que ubica al autor(a) del trabajo doctoral, el año de la presentación de su trabajo, la universidad de origen y el país en el que se desarrolló y, por último, el título de la investigación.

Tabla 6

*Tesis doctorales dedicadas a la modelización en ciencias*

No.	Autor	Año	Universidad – País	Título investigación
1	Angulo Delgado, Fanny	2002	Universidad Autónoma de Barcelona – España	Aprender a enseñar Ciencias: Análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de Secundaria, basada en la metacognición
2	Gómez Galindo, Alma Adriana	2005	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar</i>
3	Marino Rubilar, Cristian Gonzalo	2009	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>Aportes a la caracterización del modelo de cambio Químico escolar</i>
4	Blanco Anaya, Paloma	2015	Universidad de Santiago de Compostela – España	<i>Modelización y argumentación en actividades prácticas de geología en secundaria</i>
5	González, Sonia Beatriz	2015	Univ. Nac. del Centro de la Prov. de Buenos Aires – Argentina	<i>La enseñanza de conceptos básicos de Física Cuántica para un aprendizaje significativo del Modelo Atómico Actual</i>
6	Lozano, Eduardo Enrique	2016	Universidad Nacional del Comahue – Argentina	<i>Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes de ideas metacientíficas provenientes del eje naturaleza de la ciencia</i>
7	Herrera San Martín, Edith	2016	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>Indagación y modelización con el diagrama Uve de Gowin en la formación inicial del profesorado de ciencias de Educación Secundaria</i>
8	Garrido Espeja, Anna	2016	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica</i>
9	Soto Alvarado, Macarena B.	2019	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>Influencia de una propuesta formativa centrada en la modelización en la evolución del modelo científico escolar de energía en futuros docentes de física y matemática</i>
10	Muñoz Campos, Verónica	2021	Universidad de Málaga – España	<i>Aprendizaje del cambio químico y desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje para Educación Secundaria Obligatoria en el</i>

No.	Autor	Año	Universidad – País	Título investigación
11	Bernal, María Armario	2021	Universidad de Cádiz – España	<i>contexto del consumo y elaboración del yogur</i> <i>La enseñanza del fenómeno de las mareas desde enfoques de modelización</i>
12	Garrido Sánchez, Nicolás	2022	Universidad Autónoma de Barcelona – España	<i>Análisis del aprendizaje de conceptos de Electrostática en la formación del profesorado de Física</i>
13	Rosa Esperanza Galera Flores	2023	Universidad de Cádiz – España	<i>La modelización de ser vivo en la formación inicial de maestros: una investigación de diseño</i>

*Fuente:* Elaboración propia.

A lo largo de las tesis registradas, se puede ver una continuidad en el tiempo que inicia en 2002 (Angulo Delgado) y culmina en 2023 (Rosa Esperanza Galera Flores), lo que cubre más de dos décadas de investigación doctoral vinculada a la modelización en la enseñanza de las ciencias. Este flujo temporal permite observar cómo el interés por la temática no solo se ha mantenido, sino que se ha ido profundizándose, extendiéndose y diversificándose en los distintos contextos formativos, especialmente dentro de la formación inicial de docentes. Desde los primeros trabajos, realizados en universidades españolas como la Universidad Autónoma de Barcelona (que figura en numerosas ocasiones), la Universidad de Santiago de Compostela o la Universidad de Málaga, hasta universidades argentinas como la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y la Universidad Nacional del Comahue, se constata una fuerte presencia de estudios que investigan formas de enriquecer la práctica docente a través de la construcción y uso de modelos científicos escolares.

La mayoría de estas investigaciones se enmarcan en programas de doctorado en Educación o Didáctica de las Ciencias de instituciones iberoamericanas, con predominancia de España. Sin embargo, un gran número de trabajos en universidades argentinas también aporta otros enfoques; en particular aquellos que ponen énfasis en la naturaleza de la ciencia y el papel de ideas metacientíficas en el proceso de modelización. De esta manera, los escenarios de investigación abarcan desde la enseñanza primaria, secundaria y hasta la educación superior,

con propuestas que van desde la introducción de maquetas tridimensionales para explicar fenómenos ecológicos, hasta el empleo de herramientas de reflexión (como el diagrama de Gowin<sup>2</sup>) o el análisis de la comunicación oral y escrita en el aula. En todos los casos, la formación inicial de docentes se enmarca en la participación de prácticas científicas que abordan conceptos complejos (por ej: física cuántica, electrostática, cambio químico, membrana celular o mareas, entre otros).

Nuevamente, es importante puntualizar que el conjunto de estudios se caracteriza por una aproximación metodológica cualitativa, donde sobresale la investigación basada en el diseño, el estudio de caso y la Investigación-Acción. Los autores hacen notar la relevancia de la interacción social, la reflexión y la metacognición en la consolidación de competencias modelizadoras. Lo anterior destaca la necesidad de secuencias didácticas cíclicas que posibiliten rediseños congruentes con los hallazgos de cada implementación. Desde los primeros trabajos de inicios de la década del 2000 hasta las más recientes investigaciones de 2021-2023, se mantiene la línea constructivista y permanente búsqueda de estrategias didácticas que potencien la comprensión amplia de fenómenos científicos y la apropiación de conocimientos en el marco de la ciencia en el ámbito escolar.

De este modo, la tabla describe el avance temático y cronológico de la modelización como una praxis central en la didáctica de las Ciencias, de igual manera pone de presente la consolidación de la investigación en este campo en diversos contextos geográficos y ciclos educativos; muchos tienen el propósito de acompañar a los docentes para implementar este tipo de metodologías en el aula y por extensión un mejor aprovechamiento del aprendizaje en términos contextuales.

**Metodología e instrumentos implementados en tesis doctorales:** A continuación, se presenta la tabla 7 que sistematiza la metodología y los principales instrumentos de recolección

---

<sup>2</sup> Herramienta gráfica utilizada para representar el proceso de investigación científica, propuesta por el educador y científico William A. Gowin, el diagrama relaciona conceptos, preguntas y resultados.

de datos utilizados en las investigaciones doctorales relacionadas con la modelización en la enseñanza de las ciencias. Este panorama permite apreciar la predominancia de metodologías cualitativas y la diversidad de técnicas empleadas para indagar, describir y analizar los procesos de construcción de modelos científicos por parte de futuros docentes y estudiantes. Con ello, se busca dar cuenta de la complejidad inherente a la actividad científica escolar y de las dinámicas de aula que facilitan o dificultan la adopción de prácticas de modelización en la enseñanza.

**Tabla 7**

*Metodología y principales instrumentos de recolección de datos utilizados en tesis doctorales.*

<b>N°</b>	<b>Autor/a</b>	<b>Metodología</b>	<b>Principales instrumentos empleados</b>
1	Angulo Delgado, Fanny (2002)	Cualitativa, longitudinal, estudio de caso	- Grabaciones en video
2	Gómez Galindo, Alma Adriana (2005)	Cualitativa, investigación-acción	- Análisis de discurso
3	Merino Rubilar, Cristian Gonzalo (2009)	Cualitativa	- Análisis de libros de texto y proyectos innovadores
4	Blanco Anaya, Paloma (2015)	Cualitativa, estudio de caso	- Análisis de discurso
5	González, Sonia Beatriz (2015)	Cualitativa-interpretativa	- Observación y registro de la comunicación oral
6	Lozano, Eduardo Enrique (2016)	Cualitativa	- Análisis de contenido (producciones textuales, esquemas)
7	Herrera San Martín, Edith (2016)	Investigación cualitativa, estudio de caso	- Observaciones en aula
8	Garrido Espeja, Anna (2016)	Cualitativa	- Análisis de actividades dentro de secuencias didácticas
9	Soto Alvarado, Macarena B. (2019)	Cualitativa	- Análisis de los modelos expresados por los participantes
10	Muñoz Campos, Verónica (2021)	Cualitativa	- Análisis del discurso
11	Bernal, María Armario (2021)	Cualitativa, investigación basada en diseño	- Cuestionarios
12	Garrido Sánchez, Nicolás (2022)	Investigación-acción	- Explicaciones escritas
13	Rosa Esperanza Galera Flores (2023)	Investigación basada en diseño	- Cuestionarios (pretest-postest)

*Fuente:* Elaboración propia.

Del conjunto de tesis se desprende un marcado predominio de metodologías cualitativas, ya sea en formato de estudio de caso, investigación-acción o investigación basada en el diseño

(*design-based research*). Esta orientación cualitativa responde al interés de los investigadores por capturar en profundidad los procesos de enseñanza-aprendizaje durante la construcción y uso de modelos científicos en distintos niveles educativos (primaria, secundaria y formación docente).

Los instrumentos empleados se caracterizan por su variedad y flexibilidad: grabaciones de video y audio, entrevistas, cuestionarios, análisis de discursos orales y escritos, diarios de clase y producción de esquemas o dibujos. Todos ellos permiten estudiar el desarrollo de los participantes —ya sean docentes en formación o estudiantes de niveles básico y medio— en cuanto a su evolución conceptual, su interacción en el aula y la forma en que razonan y expresan las explicaciones científicas. Gracias a esta diversidad de técnicas, las investigaciones logran captar la complejidad de la práctica de la modelización y el modo en que los futuros docentes reflexionan sobre ella para transformarla en un recurso clave en su futura labor profesional.

**Niveles educativos abordados y contextos de formación:** El panorama general evidencia que un buen número de trabajos (nueve de ellos) se centran en la formación inicial del profesorado (ver tabla 8), ya sea de Primaria, de Secundaria o de disciplinas específicas como Física, Química o Biología en el ámbito universitario. Este hecho pone de presente la importancia que tiene implementar propuestas de modelización desde los inicios de la carrera docente; con el fin de favorecer el aprendizaje de la ciencia como una práctica basada en la construcción y revisión de modelos.

Ahora bien, también se pudo evidenciar que las investigaciones sobre Educación Secundaria (cinco tesis) y Educación Primaria (cuatro tesis) constituyen énfasis importantes, en la medida en que las y los autores plantean secuencias didácticas, actividades de exploración y estrategias de enseñanza-aprendizaje que se pueden aplicar directamente en el aula. Estas propuestas por lo general implican el acompañamiento a futuros docentes o el trabajo experimental con estudiantes reales, con el propósito de estudiar las dinámicas de enseñanza y aprendizaje de los contenidos científicos mediante la práctica de la modelización.

De manera similar, cuatro tesis abordan la educación superior como ámbito de estudio, frecuentemente vinculado a la formación de docentes especialistas (por ejemplo, de Química, Física o Matemáticas) o a la profundización en conceptos científicos en cursos universitarios. Nuevamente, en todos los casos, se evidencia la pertinencia de la modelización como estrategia formativa, tanto para promover la comprensión de fenómenos complejos como para potenciar competencias profesionales, incluyendo la argumentación, la indagación y la metacognición.

Teniendo en cuenta lo anterior, el conjunto de investigaciones da cuenta de un amplio interés por impulsar la cultura de la modelización en las distintas etapas del sistema educativo, con especial atención a la formación de los futuros docentes. Se constata, continuidad para enlazar primaria, secundario y nivel superior en el que la didáctica de la modelización es un núcleo transversal para promover la alfabetización en términos científicos y en la práctica profesional de la enseñanza.

### **Tabla 8**

*Niveles educativos abordados en las tesis doctorales*

<b>Categoría</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Tesis Referenciadas</b>
Educación Primaria	4	2, 8, 11, 13
Educación Secundaria	5	1, 4, 5, 7, 10
Educación Superior	4	3, 6, 9, 12
Formación Inicial de Docentes	9	1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13

*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* En la tabla 8, se encuentran las tesis referenciadas; el número corresponde con el asignado originalmente a cada investigación. Así mismo, algunas tesis hacen referencia a más de un nivel

o también combinan la actuación en un determinado nivel (p. ej., Secundaria) con la formación inicial de docentes, lo que explica la superposición de algunas referencias.

### **2.3. Fuentes Terciarias: Eventos Académicos**

En la investigación en Didáctica de las Ciencias, los eventos académicos (congresos, seminarios, conferencias) constituyen un espacio privilegiado donde se presentan trabajos en proceso, experiencias innovadoras y discusiones pioneras (Aragón, Oliva, y Navarrete, 2009; Justi y Maia, 2009). Estos trabajos son, en muchos casos, un primer acercamiento a los resultados que posteriormente pueden publicarse como artículos o capítulos de libro. Por lo tanto, revisar las ponencias sobre modelización presentadas en estos eventos ofrece un panorama actual y emergente de cómo está evolucionando la temática, qué vacíos de investigación persisten y cuáles son las líneas futuras que se están trazando (Adúriz, 2017).

En la presente tesis, se ha considerado fundamental complementar la revisión de literatura (artículos científicos, tesis doctorales) con los aportes que circulan en congresos, dada la relevancia que el enfoque de modelización (y las prácticas científicas asociadas) ha adquirido en los últimos años para la formación inicial de docentes de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Garrido y Couso, 2017; Téllez-Acosta et al., 2021).

#### **Selección, delimitación de los eventos académicos y categorización.**

Para la presente revisión, se han contemplado eventos académicos de reconocida trayectoria en el área de Didáctica de las Ciencias y la formación de profesores:

1. Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias.
2. Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias.
3. Congreso Iberoamericano de Educación Científica (CIEDUC).
4. Conferencia de la Asociación Europea de Investigación en Educación Científica (ESERA).

La ventana de observación es del 2000–2024, no obstante, el rango temporal de hallazgos abarca principalmente los años **2001-2023**, período en el que se ha identificado un notable auge de la línea de investigación sobre modelos y modelización en la enseñanza de las ciencias (Adúriz y Izquierdo, 2005).

No todas las ediciones de estos congresos contaron con memorias digitales disponibles o con trabajos explícitos sobre modelización. En casos como el I, II, III Congreso Internacional sobre Formación de Profesores en Ciencias o ciertas ediciones de ESERA, no se registraron ponencias accesibles en el tema específico. Aun así, se logró conformar un corpus representativo de 141 ponencias que sí abordan la modelización científica en la enseñanza de las ciencias.

Se realizó la revisión de las memorias, libros de actas y números extraordinarios de revistas asociadas a cada evento. Para definir la relevancia de cada ponencia, se exigió que mencionara expresamente la modelización o los modelos científicos escolares como parte de su enfoque didáctico, epistemológico o de investigación. Adicionalmente, que abordara algún aspecto de la formación (inicial o continua) de docentes de ciencias, o bien la implementación de prácticas de modelización en distintos niveles educativos. Teniendo en cuenta lo anterior, que estuviera disponible en formato electrónico (PDF, actas online) para su análisis detallado.

Cada ponencia seleccionada se registró en una base de datos (ver Tabla 9) como ejemplo), consignando:

- Título, autores y año.
- Nombre del evento y ubicación.
- Resumen e idea principal.
- Nivel educativo y/o participantes.
- Metodología y resultados más relevantes.

**Tabla 9**

*Ejemplo de registro de las ponencias incluidas.*

#	TITULO	AUTORES	AÑO	ENCUENTRO	PAIS_EVENTO	PAIS_PUBLICACION	ALCANCE	FORMACION_PROFESORES	PARTICIPANTES	METODOLOGÍA
1	La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica	María Armario Bernal  Natalia Jiménez-Tenorio  José María Oliva	2021	11° Congreso internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias	Lisboa, Portugal	España	El artículo presenta una secuencia de enseñanza - aprendizaje (SEA) para abordar el fenómeno de las mareas en el contexto de la formación inicial de maestros en ciencias.	Sí, el artículo se centra en la formación inicial de maestros y en cómo la enseñanza basada en modelización puede mejorar las competencias didácticas...	Estudiantes del grado en Educación Primaria, durante dos ciclos consecutivos de implementación (2018/2019 y 2019/2020).	Investigación basada en el diseño, con etapas de diagnóstico, implementación en dos ciclos y evaluación retrospectiva.
2	La modelización como estrategia para la construcción de explicaciones sobre los seres vivos desde la característica de reproducción	Alma Yarely de la Rosa-González  Mauricio Carrillo-Tripp  Sabrina Patricia Canedo	2021	11° Congreso internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias	Lisboa, Portugal	España	El trabajo analiza el uso de la modelización científica como herramienta para abordar la reproducción como característica distintiva de los seres vivos.	NO	Estudiantes de diferentes niveles educativo, incluyendo primaria y secundaria.	Diseño e implementación de actividades didácticas basadas en la modelización para la construcción de explicaciones sobre procesos biológicos.

3	Modelos científicos escolares de profesorado de educación infantil en formación al estudiar la disolución de azúcar en agua	Marta Cruz-Guzmán Antonio García-Carmona Ana María Criado	2021	11° Congreso internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias	Lisboa, Portugal	España	Este trabajo analiza cómo futuros profesores de educación infantil (FPEI) elaboran y progresan en la construcción de modelos científicos escolares para explicar la disolución del azúcar en agua en función de la temperatura.	Sí, el artículo aborda explícitamente la formación docente en ciencias. Explora cómo las actividades de modelización contribuyen al desarrollo de competencias científicas y didácticas en los FPEI,	47 FPEI (46 mujeres y 1 hombre) cursando el tercer año del Grado en Educación Infantil.	La intervención consistió en cinco sesiones que incluyeron actividades de diagnóstico, construcción de modelos, reflexión grupal, y comparación de sus propuestas
4	Apoyos prácticos para el profesorado de ciencias en formación inicial en la planeación de una investigación basada en la modelización científica	Maria Esther Tellez-Acosta Andres Acher Scott McDonald	2021	11° Congreso internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias	Lisboa, Portugal	España	Este estudio aborda los retos en la formación inicial del profesorado de ciencias para planear clases basadas en la modelización científica	Sí, este trabajo está enfocado en la formación de docentes de ciencias. Propone estrategias prácticas y fundamentadas que permiten al profesorado en formación adquirir competencias para planificar e implementar actividades basadas en la modelización, conectando teoría y práctica pedagógica.	Seis grupos de profesores en formación inicial para la enseñanza primaria.	Investigación basada en el diseño que incluye la estructuración, implementación y análisis de apoyos prácticos.

5	Uso de rúbricas para evaluar el modelo de ser vivo en estudiantes de magisterio	Rosa Esperanza Galera-Flores Natalia Jiménez-Tenorio José María Oliva	2021	11° Congreso internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias	Lisboa, Portugal	España	Este estudio se centra en el diseño y validación de una rúbrica analítica destinada a evaluar el desempeño o de estudiantes de magisterio en el manejo del modelo de ser vivo.	Sí, el estudio aborda la formación de profesores en ciencias, específicamente en biología, a través de la evaluación de sus competencias en modelización y comprensión conceptual del modelo de ser vivo.	Estudiantes del Grado en Educación Primaria, distribuidos en dos grupos: un grupo piloto para validar la rúbrica y otro para analizar sus progresos.	Elaboración de una rúbrica con nueve dimensiones (incluyendo definiciones estructurales, funciones vitales y ejemplos de seres vivos).  Validación mediante el modelo logístico de Rasch.
---	---------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------	------	--------------------------------------------------------------------------------	------------------	--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

*Nota.* La tabla anterior es ilustrativa y contiene solo una muestra; la matriz global incluyó 141 registros.

Para la categorización y análisis se sigue la propuesta metodológica recomendada por Aragón et al. (2009) y retomada en otros estados del arte (por ejemplo, Jiménez y Tenorio, 2017; Justi y Gilbert, 2002), se analizaron las comunicaciones según las siguientes categorías: (1) año de publicación, (2) país de procedencia, (3) alcance investigativo (diagnóstico, implementación, validación, discusión teórica), (4) Metodología (enfoque cualitativo, cuantitativo o mixto), (5) Instrumentos de recolección de datos (cuestionarios, entrevistas, producciones escritas, etc.), (6) Enfoque o contenido científico (biología, química, física, etc.), (7) Nivel educativo (infantil, primaria, secundaria, universidad, formación de profesores), (8) Contexto de formación (futuros docentes, docentes en servicio, estudiantes en general).

A continuación, se detallan los resultados principales de este análisis.

**Distribución temporal:** En la Tabla 10 se muestra la progresión de trabajos sobre modelización a lo largo del tiempo, se considera únicamente las ponencias que cumplieron los criterios de inclusión.

**Tabla 10**

*Cantidad de ponencias sobre modelización por año (2001-2023)*

<b>Año</b>	<b>Cantidad de ponencias</b>	<b>Año</b>	<b>Cantidad de ponencias</b>
2000	0	2012	0
2001	1	2013	21
2002	0	2014	3
2003	0	2015	0
2004	0	2016	3
2005	1	2017	40
2006	0	2018	10
2007	0	2019	2
2008	0	2020	0
2009	10	2021	32
2010	0	2022	0
<b>2011</b>	0	<b>2023</b>	4

*Fuente: Elaboración propia*

Antes de 2005, solo se hallan referencias muy puntuales (Islas y Pesa, 2001). A partir de 2009, es posible ver una tendencia sostenida, lo que podría estar vinculado con la consolidación de la modelización como práctica científica fundamental en las reformas curriculares (Justi y Maia, 2009). En el período 2017-2021, se concentra un número significativo de estudios (más de 50 ponencias), que coinciden con la expansión de la enseñanza basada en modelos y el interés por la formación inicial docente (Garrido y Couso, 2017; Téllez-Acosta et al., 2021).

**Producción académica por país:** La mayor parte de las ponencias provienen de España, México, Colombia, Brasil, Argentina y Chile. Existen también colaboraciones con otros países (Uruguay, Alemania, China, EE. UU.) pero en menor medida. Esto coincide con resultados de estudios previos que señalan a Iberoamérica como una región muy activa en el campo de la Didáctica de las Ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2005; Tamayo, 2013). En la Tabla 11 se muestra el recuento de ponencias según el país principal de filiación de los autores

**Tabla 11**

*Ponencias sobre modelización en eventos académicos, clasificadas por país de procedencia principal.*

País	Cantidad de Ponencias
España	35
México	22
Colombia	18
Brasil	15
Argentina	10
Chile	8
Otros (China, Alemania, etc.)	5
<b>Total</b>	<b>113</b>

Fuente: elaboración propia

Se observa que España lidera en número de comunicaciones, con una fuerte presencia del Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias (ediciones realizadas en Sevilla, Girona y Lisboa), donde la modelización ha sido un eje temático reiterado (Aragón y Oliva, 2017; Couso et al., 2021). México mantiene una producción alta especialmente en torno al Modelo Científico

Escolar de Arribo (MCEA), aplicado a contenidos de química, biología y fenómenos sociocientíficos (López-Mota et al., 2016; Pereda-García y López-Mota, 2021).

**Alcance investigativo:** Tal cual se detalla en la Tabla 12, más de la mitad de las ponencias (un 62%) plantean implementaciones de secuencias didácticas basadas en modelización (con distintos grados de sistematización), mientras que cerca del 25% son estudios de diagnóstico, centrados en la identificación de concepciones iniciales y modelos mentales de estudiantes o docentes. Un 10% integra diagnóstico + propuesta, y un 3% se dedica a la discusión teórica sobre naturaleza de los modelos, metamodelización y enfoques epistemológicos.

**Tabla 12**

*Distribución de las ponencias según el tipo de alcance investigativo.*

<b>Alcance investigativo</b>	<b>% sobre el total</b>
Implementaciones	62%
Diagnósticos	25%
Diagnóstico + Propuesta	10%
Discusión teórico-metodológica	3%

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos sugieren que existe un interés creciente por llevar a la práctica la modelización en el aula, con la correspondiente evaluación de su eficacia en la comprensión de fenómenos científicos (Hugo et al., 20013; Oliva et al., 2013).

**Metodologías e instrumentos:** La variedad metodológica es amplia, pero predomina la investigación de corte cualitativo o cuali-cuantitativo. En el enfoque cualitativo se observan estudios de caso, análisis interpretativo, uso de entrevistas, diarios de clase, producciones escritas y dibujos (Justi y Maia, 2009; Téllez-Acosta et al., 2021). En el enfoque mixto se destaca la Incorporación de cuestionarios tipo Likert o rúbricas para evaluar la progresión de los modelos, combinados con análisis cualitativos de la construcción de significados (Jiménez y Tenorio, 2021; Rodríguez y Faustinos, 2014). En el enfoque cuantitativo es menos frecuente, aunque se reportan

análisis Rasch (Liu, et al., 2023) y procedimientos estadísticos en la validación de rúbricas o escalas de progresión (Galera-Flores, et al., 2021).

Dentro de los instrumentos de recolección de datos más utilizados se mencionan: Cuestionarios abiertos y cerrados (para ideas previas y evaluación post-intervención). Entrevistas (semiestructuradas, clínicas) para profundizar en los modelos mentales de los participantes. Producciones escritas y gráficas (dibujos, diagramas, maquetas) que permiten ver cómo evoluciona el modelo mental. Rúbricas analíticas (por ejemplo, las diseñadas por Galera-Flores et al., 2021; Téllez-Acosta et al., 2021) para evaluar el nivel de comprensión conceptual o de complejidad en la modelización.

**Áreas de contenido científico abordadas:** Las ponencias abarcan diversas disciplinas en Ciencias Naturales:

**Biología:** fotosíntesis, reproducción, evolución, inmunología, nutrición, red trófica, etc. (Couso et al., 2021; Hugo y Adúriz, 2009).

**Química:** cambio químico, enlace químico, cinética, termodinámica, disoluciones (Aragón et al., 2009; Oliva y Aragón, 2017).

**Física:** electrostática, corriente eléctrica, mecánica cuántica, movimiento y fuerza (López-Gay et al., 2017; Rodríguez y Faustinos, 2019;).

**Ciencias de la Tierra y la Astronomía:** tectónica de placas, terremotos, hidrostática, mareas, clima (Armario Bernal et al., 2021; Faustinos y Rodríguez, 2014).

**Fenómenos sociocientíficos:** obesidad, vacunación, contaminación atmosférica, humedales (Abella y García, 2023; Moreno Arcuri, et al., 2021).

Esta heterogeneidad ratifica que la modelización trasciende un contenido particular y se entiende como una práctica científica general aplicable a múltiples fenómenos (Justi y Gilbert, 2002).

**Niveles educativos y contextos de formación:** Del total de comunicaciones analizadas:

Un 45% se centran en secundaria, ya sea para introducir conceptos abstractos o para consolidar la alfabetización científica en adolescentes (Pereda-García, 2021; Píriz Giménez y Galagovsky, 2021). Un 25% aborda la formación inicial de docentes (grado universitario o programas equivalentes), destacando la relevancia de la modelización en la construcción de competencias pedagógicas (Garrido Espeja y Couso, 2017; Jiménez-Tenorio y Aragón, 2017). Un 15% trabaja educación primaria (rangos de edades entre 6 y 12 años) con propuestas didácticas que favorecen la aproximación temprana a la modelización (Cruz-Guzmán, et al., 2021). Un 10% corresponde a educación superior (carreras de salud, ingeniería, biología, etc.) sin enfocarse en la formación docente, pero relevante para la integración de modelos científicos complejos (Céspedes y Tuay, 2017). El resto (5%) son ponencias de carácter general o teórico, sin delimitar un nivel educativo específico.

En lo referente al contexto de formación, la mayoría de los trabajos describen intervenciones con estudiantes (tanto de primaria, secundaria o universidad), mientras que otro porcentaje significativo (alrededor del 20%) estudia profesores en formación inicial de Ciencias, y un 10% examina la formación continua de docentes en ejercicio.

El campo de la modelización en la enseñanza de las ciencias ha mostrado un desarrollo considerable en las últimas dos décadas. Sin embargo, la revisión evidencia una brecha relevante relacionada con la ausencia de propuestas estructuradas que integren dimensiones epistemológicas, pedagógicas y didácticas en la formación inicial del profesorado. La mayoría de los estudios se centran en intervenciones puntuales o diagnósticos, pero pocos articulan estos resultados con marcos teóricos robustos que permitan orientar las prácticas formativas. Esta investigación busca precisamente responder a dicha brecha, al proponer criterios que fortalezcan la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva crítica, ética y situada.

### **Capítulo 3. Marcos de referencia**

El presente capítulo desarrolla los marcos de referencia que sustentan conceptualmente esta investigación. En primer lugar, se expone el marco teórico, en el que se examinan los enfoques contemporáneos de la educación en ciencias, la didáctica como campo disciplinar, las prácticas científicas escolares, y el papel de la modelización en el aprendizaje de las ciencias. Posteriormente, se presenta el marco conceptual, en el cual se delimitan y organizan las categorías fundamentales del estudio: educación en ciencias, didáctica de las ciencias, formación inicial de docentes, actividad científica escolar, modelos en ciencias, modelización científica y competencias modelizadoras. Ambos marcos ofrecen una base epistemológica y pedagógica sólida que orienta el análisis, la interpretación y la articulación de los resultados, permitiendo comprender los procesos de construcción y fortalecimiento de competencias modelizadoras en la formación inicial de docentes de ciencias naturales y educación ambiental.

#### **3.1. Marco teórico**

El marco teórico de esta tesis doctoral se construye a partir de una revisión crítica de los principales enfoques que han configurado la educación en ciencias en las últimas décadas. Se analiza la transición desde visiones tradicionales hacia paradigmas constructivistas y socioculturales que conciben el conocimiento científico como una construcción situada, colectiva y dinámica. Se abordan los fundamentos de la didáctica de las ciencias como disciplina que integra saberes epistemológicos, pedagógicos y sociales, y se examinan las prácticas epistémicas escolares, como eje central para una enseñanza auténtica de las ciencias. Finalmente, se profundiza en la modelización como práctica científica y pedagógica, y en las competencias modelizadoras como eje articulador entre teoría y práctica, proponiendo una mirada compleja y transformadora de la enseñanza de las ciencias en la formación inicial del profesorado.

### **3.1.1. Paradigmas contemporáneos en la educación en ciencias**

La educación en ciencias ha experimentado una transformación profunda en las últimas décadas, transitando de perspectivas tradicionales centradas en la transmisión de contenidos hacia enfoques más integradores que reconocen el carácter situado, social y constructivo del conocimiento científico. Esta evolución responde a la necesidad de formar ciudadanos capaces de interactuar críticamente con un mundo mediado por la ciencia y la tecnología (Osborne, 2007).

Tradicionalmente, el paradigma dominante en la enseñanza de las ciencias se fundamentaba en una visión positivista, en la que la ciencia era concebida como un cuerpo de conocimientos objetivos, universales y verificables. Bajo esta perspectiva, la enseñanza consistía principalmente en la transmisión de teorías, leyes y principios, privilegiando la memorización de información y la reproducción de conceptos canónicos (Adúriz-Bravo, 2012). Sin embargo, este enfoque ha sido ampliamente cuestionado por su incapacidad para reflejar la complejidad del conocimiento científico real y por limitar el desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes.

El surgimiento del constructivismo marcó un giro paradigmático significativo. Desde esta perspectiva, aprender ciencias implica construir activamente significados, en interacción con experiencias previas y contextos culturales específicos (Driver, Asoko, Leach, Mortimer y Scott, 1994). El conocimiento científico no es simplemente descubierto, sino construido a partir de procesos de interpretación y negociación social. En este sentido, el aula se concibe como un espacio de diálogo, reflexión y reconstrucción continua del saber.

Dentro del constructivismo, el enfoque sociocultural ha adquirido especial relevancia ya que sostiene que el paradigma sostiene que el aprendizaje es un proceso intrínsecamente social y mediado culturalmente. El conocimiento científico se desarrolla a través de prácticas sociales compartidas, en las que las herramientas culturales, como el lenguaje y los modelos científicos, desempeñan un rol central (Lemke, 2001). De esta manera, aprender ciencias implica participar en comunidades de práctica donde se negocian significados, se argumenta, se modela y se valida colectivamente el conocimiento.

Desde la perspectiva sociocultural, la enseñanza de las ciencias debe diseñar escenarios de aprendizaje que permitan a los estudiantes actuar como científicos en contextos auténticos. Esto implica no solo adquirir conceptos, sino también apropiarse de prácticas epistémicas como la formulación de hipótesis, la modelización, la argumentación basada en evidencia y la evaluación crítica de explicaciones (Duschl, Schweingruber y Shouse, 2007). Así, el aula de ciencias se transforma en un espacio de participación, colaboración y construcción conjunta de saberes científicos.

Este enfoque implica reconocer también las tensiones inherentes a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Según Kelly (2008), la ciencia escolar no puede ser entendida como una mera reproducción de la ciencia profesional, sino como una recontextualización que necesariamente implica adaptaciones, reinterpretaciones y reconstrucciones pedagógicas. La adopción de paradigmas socioculturales obliga a los docentes a repensar no solo qué se enseña, sino cómo y para qué se enseña, promoviendo una educación científica más democrática, inclusiva y crítica.

Finalmente, integrar el paradigma sociocultural en la educación en ciencias tiene profundas implicaciones en la formación inicial de docentes. Como plantean Windschitl, Thompson y Braaten (2008), los futuros profesores deben ser formados no solo en contenidos científicos, sino también en prácticas auténticas de modelización, indagación y argumentación, entendidas como actividades culturales que dan sentido al conocimiento. De esta manera, se promueve el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes y se contribuye a formar ciudadanos capaces de enfrentar críticamente los desafíos de una sociedad compleja y cambiante.

### ***3.1.2. Fundamentos didácticos y formativos en la enseñanza de las ciencias***

#### **Didáctica de las ciencias: principios, tensiones y prácticas auténticas**

La didáctica de las ciencias ha consolidado su lugar como disciplina autónoma al abordar de manera sistemática los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales. Desde sus orígenes, se ha configurado como un campo de saber interdisciplinario que articula la epistemología de las ciencias, las teorías del aprendizaje y los principios pedagógicos (Izquierdo, De Pro, Y García-Carmona, 2002). Esta visión integradora le ha permitido evolucionar más allá del enfoque tradicional de transmisión de contenidos, para proponer metodologías que consideran el carácter dinámico, tentativo y socialmente construido del conocimiento científico.

Uno de los principales fundamentos de la didáctica contemporánea es reconocer la ciencia como una práctica humana mediada culturalmente, donde la construcción de conocimiento implica procesos de modelización, argumentación, indagación y evaluación crítica (Duschl, 2008). En este sentido, enseñar ciencias no solo implica enseñar teorías y leyes, sino también ofrecer experiencias en las que los estudiantes participen activamente en prácticas epistémicas auténticas, desarrollando habilidades para construir y revisar explicaciones científicas fundamentadas.

Sin embargo, esta reconceptualización ha generado tensiones didácticas relevantes. Entre ellas se encuentran los desafíos de traducir la complejidad de la práctica científica a escenarios educativos accesibles, así como las dificultades para equilibrar las exigencias curriculares estandarizadas con el desarrollo de habilidades epistemológicas profundas (Martínez-Chico, 2014). Estas tensiones evidencian que la didáctica de las ciencias no solo se ocupa del "qué enseñar", sino también del "cómo" y "para qué" enseñar, enmarcando su acción en una reflexión permanente sobre el papel de la ciencia en la sociedad.

Por tanto, los principios contemporáneos de la didáctica de las ciencias promueven una enseñanza situada, crítica y reflexiva, capaz de conectar el conocimiento escolar con los desafíos sociales, éticos y ambientales actuales, mediante prácticas educativas que repliquen la complejidad inherente a la construcción del saber científico.

### **Formación inicial de profesores: competencias pedagógicas y desafíos en la incorporación de prácticas científicas**

La formación inicial de profesores en ciencias debe ser entendida como un proceso de integración compleja entre saberes disciplinares, pedagógicos y epistemológicos, que implica entonces no solo transmitir contenidos conceptuales, sino también formar en el uso reflexivo de prácticas científicas escolares como la modelización, la indagación o la argumentación. Estas prácticas no deben abordarse como simples estrategias metodológicas, sino como modos de participación en actividades epistémicas que reflejan el quehacer científico (Windschitl, Thompson, Y Braaten, 2008).

Uno de los retos más importantes en este proceso formativo es promover una comprensión crítica de la naturaleza de la ciencia y de los modelos científicos como representaciones dinámicas, contextuales y revisables (Gilbert, 2011). Esta comprensión es esencial para que los futuros docentes puedan diseñar experiencias de aprendizaje basadas en la construcción, evaluación y revisión de modelos, que favorezcan el desarrollo de competencias científicas auténticas en sus estudiantes.

Asimismo, se destaca la necesidad de incorporar procesos sistemáticos de reflexión crítica en la formación docente. Según Abell (2008), la reflexión sobre las propias concepciones científicas, las decisiones didácticas y los supuestos epistemológicos permite construir un conocimiento profesional más profundo, capaz de orientar prácticas pedagógicas fundamentadas y transformadoras.

No obstante, las investigaciones señalan que muchos programas de formación inicial aún presentan el desafío de articular la teoría y la práctica, ya que algunos aún ofrecen escasas oportunidades para experimentar la modelización científica en contextos reales o simulados (Couso, 2020). Esta carencia impacta negativamente en la capacidad de los futuros docentes para incorporar prácticas científicas auténticas en sus propuestas didácticas.

### **3.1.3. Prácticas epistémicas escolares y desarrollo de competencias científicas**

#### **Actividad científica escolar: modelización, indagación y argumentación**

La actividad científica escolar (ACE) ha sido conceptualizada como un medio para acercar a los estudiantes a las prácticas genuinas de la construcción del conocimiento científico. Desde una perspectiva sociocultural, se reconoce que aprender ciencias no implica únicamente apropiarse de conceptos, sino participar en prácticas discursivas, representacionales y experimentales que caracterizan a las comunidades científicas (Osborne, 2014).

En este contexto, la ACE promueve el desarrollo de competencias científicas a través de prácticas como la modelización, la indagación y la argumentación. La modelización permite a los estudiantes construir representaciones simplificadas de fenómenos complejos, facilitando el razonamiento causal y predictivo (Gilbert Y Justi, 2016). La indagación fomenta la formulación de preguntas investigables, el diseño de estrategias de recolección de datos y la interpretación crítica de resultados (Duschl Y Bybee, 2014). Por su parte, la argumentación científica desarrolla la capacidad de justificar afirmaciones mediante evidencia y razonamiento lógico, fortaleciendo habilidades de comunicación y pensamiento crítico (Jiménez-Aleixandre Y Erduran, 2008).

Estas prácticas no solo son componentes del aprendizaje científico, sino que constituyen competencias clave para una ciudadanía crítica capaz de enfrentar los desafíos de la sociedad contemporánea. En consecuencia, su incorporación en las aulas exige un cambio en las dinámicas pedagógicas tradicionales, desplazando la prioridad en la transmisión de contenidos hacia la participación en procesos de construcción y validación de conocimientos.

Sin embargo, el diseño e implementación de actividades que integren estas prácticas epistémicas requiere de una planificación cuidadosa y de una comprensión profunda de su naturaleza. Según Ford (2008), no se trata simplemente de añadir actividades experimentales, sino de crear entornos en los que los estudiantes puedan participar genuinamente en el desarrollo, uso y evaluación de modelos, hipótesis y argumentos científicos.

### **El uso de modelos científicos: naturaleza, funciones y representaciones en el aula**

Los modelos científicos son representaciones construidas para describir, explicar o predecir fenómenos del mundo natural. No son réplicas exactas de la realidad, sino interpretaciones parciales que destacan aspectos relevantes para ciertos propósitos científicos o educativos (Giere, 1999). Desde esta perspectiva, los modelos cumplen diversas funciones epistemológicas: organizan el conocimiento, orientan la investigación, comunican ideas y permiten realizar inferencias y predicciones (Justi Y Gilbert, 2002).

En el ámbito educativo, el uso de modelos científicos en el aula favorece el desarrollo de competencias relacionadas con la construcción, uso y evaluación crítica de representaciones. Según Treagust, Chittleborough y Mamiala (2002), integrar modelos en la enseñanza permite a los estudiantes visualizar fenómenos abstractos, explorar relaciones entre variables y comprender la naturaleza dinámica y provisional del conocimiento científico.

El trabajo con modelos en el aula también implica el uso de múltiples formas de representación, tales como diagramas, maquetas, simulaciones computacionales o ecuaciones matemáticas. La utilización de representaciones diversas facilita la comprensión de fenómenos complejos al ofrecer distintas perspectivas y modos de interacción conceptual (Ainsworth, 2006). No obstante, el manejo adecuado de múltiples representaciones requiere de una enseñanza explícita que guíe a los estudiantes en su interpretación y traducción entre diferentes registros semióticos.

Por otro lado, es fundamental que la enseñanza de modelos no se limite a su presentación como productos acabados, sino que involucre a los estudiantes en procesos de construcción, revisión y evaluación de modelos, reproduciendo así prácticas auténticas de la ciencia (Schwarz et al., 2009). De esta forma, se favorece no solo la comprensión conceptual, sino también el desarrollo de competencias epistémicas fundamentales, como la capacidad de reconocer las limitaciones de los modelos y su naturaleza provisional.

Integrar el uso crítico y reflexivo de modelos en las prácticas escolares representa, por tanto, una estrategia poderosa para promover la alfabetización científica, fortalecer las competencias de modelización y articular el aprendizaje de las ciencias con las prácticas epistémicas auténticas que caracterizan a la actividad científica contemporánea.

### **3.1.4. Modelización en ciencias y competencias modelizadoras**

#### **La modelización como práctica científica y pedagógica**

La modelización constituye una práctica central tanto en la actividad científica como en la enseñanza de las ciencias. En el ámbito de la ciencia, los modelos permiten representar sistemas complejos, explorar relaciones causales y hacer predicciones fundamentadas, constituyéndose como herramientas indispensables para la generación, comunicación y validación del conocimiento (Giere, 1999). Desde esta perspectiva, modelizar no es simplemente describir la realidad, sino construir interpretaciones teóricas que orienten la comprensión y la intervención sobre fenómenos específicos.

Trasladada al contexto educativo, la modelización implica diseñar experiencias de aprendizaje en las que los estudiantes participen activamente en la construcción, uso y revisión de modelos científicos. Este enfoque reconoce que aprender ciencias no puede reducirse a memorizar conceptos o leyes, sino que demanda desarrollar capacidades para representar fenómenos, formular hipótesis, evaluar evidencias y justificar explicaciones (Schwarz, Reiser, Davis, Kenyon, Achér, Fortus, Y Krajcik, 2009).

La modelización como práctica pedagógica, por tanto, integra aspectos cognitivos, epistémicos y discursivos. Cognitivamente, favorece procesos de abstracción, generalización y analogía. Epistémicamente, permite experimentar el carácter provisional, revisable y representacional del conocimiento científico. Discursivamente, promueve el uso del lenguaje científico para argumentar, justificar y debatir modelos (Gilbert Y Justi, 2016).

Incorporar modelización en el aula requiere estrategias didácticas que articulen las etapas de construcción inicial, evaluación crítica y refinamiento de modelos, fomentando en los estudiantes una comprensión profunda de los fenómenos científicos y de la naturaleza misma de la ciencia como actividad social y dinámica. De este modo, la modelización se convierte en un medio privilegiado para articular teoría y práctica, concepto y experiencia, ciencia escolar y ciencia real.

### **Definición, componentes y progresión de las competencias modelizadoras en la enseñanza de ciencias**

Las competencias modelizadoras se definen como el conjunto de capacidades que permiten construir, utilizar, evaluar y revisar modelos científicos para describir, explicar y predecir fenómenos naturales (Chiu Y Lin, 2019). Estas competencias son esenciales para la alfabetización científica contemporánea, ya que dotan a los estudiantes de herramientas para pensar científicamente y para participar en prácticas discursivas y epistémicas propias de la ciencia. Desde un enfoque educativo, la competencia modelizadora integra dos dimensiones fundamentales: las prácticas modelizadoras y el meta-conocimiento sobre la modelización (Papaevripidou, Constantinou, Y Zacharia, 2014).

Las prácticas modelizadoras incluyen la construcción de representaciones, la aplicación de modelos para explicar fenómenos, la comparación entre diferentes modelos y la revisión crítica basada en nuevas evidencias. El meta-conocimiento, por su parte, involucra la reflexión sobre la naturaleza y las funciones de los modelos, su carácter provisional y sus límites explicativos. Esta doble dimensión implica que enseñar modelización no se limita a enseñar a construir modelos, sino también a promover una comprensión crítica de qué son los modelos, para qué se utilizan y cómo se modifican en función de la evidencia disponible.

La progresión en el desarrollo de las competencias modelizadoras ha sido conceptualizada en términos de niveles de sofisticación creciente. Según Treagust, Chittleborough y Mamiala (2002), los estudiantes evolucionan desde una comprensión

instrumental de los modelos (como simples copias de la realidad) hacia una comprensión epistémica (como representaciones abstractas, útiles y contextuales). Esta progresión demanda intervenciones pedagógicas sistemáticas que guíen explícitamente a los estudiantes en la reflexión sobre el proceso de modelización y en el análisis crítico de los modelos construidos.

Asimismo, el desarrollo de competencias modelizadoras implica el uso de diversas formas de representación, tales como modelos visuales (diagramas, gráficos), modelos matemáticos (ecuaciones, funciones) y modelos analógicos (metáforas, simulaciones). Integrar estas representaciones de manera articulada fortalece la comprensión conceptual y potencia la capacidad de transferir conocimientos entre diferentes dominios científicos (Ainsworth, 2006).

El desarrollo anterior ha permitido fundamentar teóricamente la investigación en torno a la formación de competencias modelizadoras en futuros docentes de ciencias naturales y educación ambiental. A partir de la revisión de los enfoques contemporáneos en educación en ciencias, de los principios didácticos y formativos que orientan la enseñanza de las ciencias, así como del análisis de las prácticas epistémicas escolares y del papel de la modelización en el desarrollo de competencias científicas, se ha establecido un marco robusto que sustenta conceptualmente los objetivos de este estudio.

### **3.2. Marco conceptual**

El marco conceptual organiza y delimita las categorías centrales de este estudio, permitiendo una comprensión integrada de los procesos didácticos y epistémicos implicados en la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental desde una perspectiva modelizadora. Se desarrollan conceptos clave como educación en ciencias, didáctica de las ciencias, formación inicial de profesores, actividad científica escolar, modelos y modelización científica, y competencias modelizadoras. Estas categorías se abordan en función de su relevancia para analizar y fortalecer las prácticas científicas escolares en la formación docente, destacando la necesidad de promover experiencias formativas que articulen contenidos disciplinares, procesos de modelización y reflexión pedagógica crítica. De esta forma, el marco

conceptual establece un lenguaje común para la investigación y orienta la interpretación de los hallazgos en relación con los objetivos planteados.

### **3.2.1. Educación en ciencias**

Actualmente, la educación en Ciencias constituye un eje central en el desarrollo de competencias que permitan a los estudiantes interactuar de manera crítica y reflexiva con el mundo que los rodea. Este interés educativo tiene como propósito no solo la construcción de conocimientos científicos, sino también la formación de ciudadanos con capacidad de aplicar dichos conocimientos para resolver problemas, tomar decisiones informadas y participar activamente en una sociedad que en gran medida depende de la ciencia y la tecnología (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2009). En décadas recientes esta mirada ha evolucionado y ha ido migrando de modelos que privilegian la memorización de contenidos para enfocarse en el razonamiento crítico y en un aprendizaje significativo que conecte a los estudiantes con su entorno.

Un aspecto medular de la educación en ciencias es su capacidad para integrar el conocimiento científico con habilidades prácticas y valores éticos. Siguiendo postulados de Osborne (2007), esta disciplina debe promover la comprensión de los principios y métodos científicos al tiempo que también explica su impacto en la sociedad. Esto implica que el aprendizaje debe estar contextualizado y orientado hacia problemas actuales como el cambio climático, la sostenibilidad energética y la crisis ambiental, por nombrar algunos. En este sentido, las prácticas educativas deben presentar las complejidades del mundo real, dado que, esto prepara a los estudiantes para enfrentarlas con una perspectiva más crítica y responsable.

La literatura especializada en el tema resalta la necesidad de diseñar experiencias de aprendizaje que involucren activamente a los estudiantes en la exploración de conceptos científicos. Schwarz et al. (2009) señalan que esta perspectiva fomenta el desarrollo de competencias clave para el siglo XXI, como la resolución de problemas complejos, el trabajo colaborativo y la comunicación efectiva. Por esta misma línea, Duschl et al. (2007) enfatizan que

estándares internacionales como los *Next Generation Science Standards* (NGSS) impulsan una visión dinámica y participativa de la educación en Ciencias, donde los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también experimentan cómo se producen y validan científicamente.

Adicionalmente, la educación en Ciencias desempeña un papel crucial en la formación de una ciudadanía científica, entendida esta como la capacidad de comprender y participar en debates informados sobre temas científicos y/o tecnológicos que impactan a la sociedad. Según Millar y Osborne (1998), formar ciudadanos científicos implica no solo enseñar los conceptos básicos de la ciencia, sino también ayudar a los estudiantes a entender la naturaleza, los métodos y las limitaciones del conocimiento científico. Desde este punto de vista se necesita una integración de la alfabetización científica con la reflexión crítica sobre las implicaciones sociales y éticas de la ciencia.

Siguiendo argumentos circundantes, la educación en Ciencias debería ser una práctica transformadora que permita a los estudiantes leer el mundo con ojos de científicos. Meinardi et al. (2010) exponen que, sin este tipo de formación, una parte significativa del mundo queda fuera de la comprensión humana, lo que limita la capacidad de las personas para participar activamente en la toma de decisiones. Sin embargo, históricamente, la educación científica en las escuelas ha sido vista como un prerrequisito para la formación universitaria, orientada principalmente a preparar futuros biólogos, geólogos y físicos (Agustín-Adúriz et al., 2011). Este enfoque tradicional impacta de manera significativa el potencial transformador de la educación en ciencias, y relega su impacto a un ámbito puramente académico.

Zambrano et al. (2013) señalan que un reto central en la enseñanza de las ciencias radica en promover un pensamiento cultural científico y se espera que esto permita a los estudiantes comprender y relacionarse con el mundo que los rodea desde una perspectiva fundamentada en el conocimiento científico. En consecuencia, la enseñanza de las ciencias tendría que verse como un proceso que favorece la construcción de nuevos saberes en los estudiantes y les permite

interpretar su entorno y tomar decisiones informadas. Se destaca que esta visión debe estar orientada a mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje de disciplinas específicas, como la Física, la Química y la Biología, argumento central de Agustín-Adúriz et al. (2011).

De igual manera, la educación en Ciencias también debe proporcionar a los estudiantes experiencias que posibiliten comprender y además explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor. Según Agustín-Adúriz et al. (2011), esta experiencia de leer el mundo debe basarse en actividades humanas significativas, como la experimentación científica. No obstante, este proceso demanda una constante intervención en la naturaleza, cuya finalidad debe estar claramente fundamentada y contextualizada. De esta forma, el aprendizaje científico se transforma en una actividad cultural intrínsecamente ligada al contexto próximo del estudiante, con independencia de la etapa educativa en la que se encuentre.

### ***3.2.2. Didáctica de las ciencias naturales***

Actualmente, la filosofía de la ciencia ha centrado su atención en develar cómo los científicos reales hacen ciencia, superando la visión tradicional de la ciencia como un conjunto de conocimientos organizados y validados para considerarla una actividad humana dinámica (Izquierdo et al., 1999). Según estos autores, “las ciencias constituyen una manera de pensar y de actuar con el objetivo de interpretar determinados fenómenos e intervenir en ellos mediante un conjunto de conocimientos teóricos y prácticos, estructurados” (p. 46). En esa línea se destaca que la ciencia, al igual que otras elaboraciones humanas, es accesible para quienes desean entender el mundo y actuar sobre él; esto por medio de una interacción constante entre los modelos teóricos y los datos del mundo real.

En este contexto, la didáctica de las ciencias surge como una disciplina autónoma y consolidada que tiene como objetivo principal transmitir la cultura científica acumulada a través de los siglos. Según Gómez y Sanmartí (1996), su finalidad es que los individuos puedan aplicar este conocimiento y hacerlo evolucionar, abordando preguntas centrales como: ¿Qué enseñar? ¿Cuándo enseñar? ¿Cómo enseñar? y ¿Cómo evaluar? Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) definen

esta disciplina como un campo que se centra en los contenidos de las ciencias desde la perspectiva de su enseñanza y aprendizaje, lo que se basa principalmente en fundamentos epistemológicos.

Desde la didáctica de las ciencias confluyen conocimientos científicos con principios pedagógicos y sociales para mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje de las ciencias. En términos epistemológicos, implica que se considera la naturaleza de la ciencia como provisional y basada en la construcción de modelos que evolucionan con la evidencia (Gilbert, 2011). En lo pedagógico, prioriza la creación de experiencias activas que permitan a los estudiantes interactuar con los conceptos científicos, utilizando metodologías como la modelización para facilitar la comprensión de fenómenos complejos (Justi y Gilbert, 2003). Finalmente, en el ámbito social, se busca conectar el conocimiento científico con problemáticas contemporáneas, promoviendo una educación relevante y contextualizada.

Otro aspecto importante para resaltar es que la didáctica de las ciencias también ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, acumulando un cuerpo específico de conocimientos que se refleja en publicaciones especializadas y recursos educativos (Aliberas et al., 1989). Este desarrollo ha permitido reinterpretar los saberes científicos y psicopedagógicos para explicar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, adicionalmente también propone pautas concretas para el diseño curricular (Porlán y Rivero, 1998). En este sentido, los docentes en formación deben tener conocimientos no sólo en lo teórico de la didáctica de las Ciencias, sino, además en las estrategias de enseñanza, recursos y métodos de evaluación más relevantes para su práctica pedagógica (Mellado y González, 2000).

Una de las principales contribuciones de este campo disciplinar es su capacidad para transformar las prácticas de enseñanza tradicionales en enfoques activos y participativos. Según Duschl et al. (2007), estas estrategias incluyen prácticas científicas como, la indagación, la argumentación y la modelización, que permiten a los estudiantes experimentar procesos científicos reales, desarrollar habilidades de razonamiento crítico y construir conocimientos

significativos. Al fomentar una comprensión más situada de la ciencia como una actividad humana colaborativa y creativa, la didáctica de las ciencias contribuye al desarrollo de una ciudadanía científica informada.

Sin embargo, no es tan fácil concretar y su implementación enfrenta importantes desafíos. En muchos contextos educativos, las prácticas de enseñanza se centran en la transmisión de información, lo que limita el aprendizaje activo y significativo. Además, las restricciones curriculares y la falta de formación específica dificultan que los docentes incorporen prácticas innovadoras, como la modelización y la indagación (Osborne y Dillon, 2008). Para superar estas brechas, es esencial brindar a los docentes en formación oportunidades para reflexionar y experimentar con estas estrategias en entornos de aprendizaje auténticos.

En consonancia con estos desafíos, la didáctica de las ciencias también busca formar ciudadanos científicos capaces de evaluar críticamente la información y comprender su impacto en la sociedad. Millar y Osborne (1998) sostienen que una educación científica efectiva no solo enseña conceptos, sino también explora sus implicaciones éticas y sociales. Esto refuerza la necesidad de un enfoque didáctico que integre contenido, contexto y habilidades críticas, para preparar a los estudiantes para participar de manera informada y responsable en la sociedad contemporánea.

Así mismo, la didáctica de las ciencias constituye un campo interdisciplinario y dinámico que combina epistemología, pedagogía y compromiso social para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. A través de estrategias activas como la modelización y la indagación, busca no solo transmitir conocimientos, sino también transformar la forma en que los estudiantes y docentes interactúan con la ciencia, promoviendo una educación reflexiva, participativa y orientada hacia los desafíos actuales.

### ***3.2.7. Formación inicial de profesores en ciencias naturales***

La formación inicial de profesores en ciencias es un proceso fundamental para garantizar que los futuros educadores adquieran las competencias necesarias para facilitar aprendizajes significativos en sus estudiantes. Este proceso va más allá de la mera transmisión de conocimientos disciplinares e incluye el desarrollo de habilidades pedagógicas, actitudes reflexivas y competencias transversales que les permitan enfrentar los desafíos de la enseñanza en contextos diversos y cambiantes (Shulman, 1987; Magnusson et al., 1999). En el contexto de la tesis doctoral, esta formación se centra en la integración de competencias modelizadoras como una estrategia clave para transformar la enseñanza en un proceso dinámico y basado en prácticas científicas auténticas.

Un aspecto esencial de esta formación es el equilibrio entre el dominio del contenido científico y el uso de estrategias pedagógicas efectivas. Según Abell (2007), dicho equilibrio es crucial para que los futuros docentes comprendan la naturaleza de la ciencia y la traduzcan en experiencias de aprendizaje relevantes y accesibles. Los programas de formación inicial deben incluir tanto la enseñanza explícita de conceptos científicos como el desarrollo de competencias didácticas, tales como el diseño de actividades que conecten los conceptos con aplicaciones prácticas mediante estrategias como la modelización.

La formación inicial también debe enfatizar el desarrollo de competencias transversales como la reflexión crítica, la resolución de problemas y la colaboración. Estas competencias no solo fortalecen la práctica pedagógica, sino que también preparan a los docentes para implementar estrategias educativas adaptativas y efectivas. En el marco de la tesis doctoral, estas competencias contribuyen al desarrollo de una educación científica reflexiva, dinámica y orientada a las demandas del siglo XXI. Un componente clave de esta formación es la adquisición de conocimientos sólidos sobre modelos científicos y su construcción, así como su relación con la explicación de fenómenos cotidianos (Sanmartí, 2002). Sin embargo, la habilidad para desarrollar y comprender estos modelos representa un desafío prolongado, ya que las prácticas

de modelización tienden a ser menos familiares para los futuros docentes en comparación con otras prácticas científicas como la experimentación (Windschitl et al., 2008; Schwarz et al., 2009).

La reflexión didáctica emerge como un elemento central en este proceso formativo. Según Windschitl y Thompson (2006), esta reflexión combina las experiencias previas de los docentes como estudiantes con una evaluación crítica de los aspectos didácticos presentes en las dinámicas educativas. A través de este enfoque, los aspirantes a educadores fortalecen su conocimiento pedagógico del contenido y aseguran una transferencia efectiva de ese conocimiento a sus prácticas en el aula (Martínez-Chico et al., 2014). Este proceso no solo potencia su capacidad para emplear modelos científicos con eficacia, sino que también fomenta un aprendizaje significativo en sus estudiantes.

En América Latina, la última década ha evidenciado un incremento en las investigaciones sobre formación docente, resaltando la importancia del profesorado en el aprendizaje de los estudiantes (Vaillant, 2013). Sin embargo, la región enfrenta desafíos comunes, como atraer estudiantes altamente capacitados para la profesión docente y mejorar la calidad de la formación inicial (Vaillant, 2013). Este contexto destaca la necesidad de programas que combinen fundamentos académicos sólidos con enfoques didácticos innovadores.

El paradigma constructivista ha influido profundamente en la formación docente en ciencias, estableciéndose como un marco ideal para la reflexión crítica. Este enfoque analiza concepciones, roles, saberes y dinámicas en el aula, proporcionando herramientas para construir nuevos conocimientos profesionales (Porlán et al., 1997). Este modelo exige que los futuros educadores desarrollen un dominio profundo no solo del contenido disciplinar, sino también de los marcos teóricos y metodológicos que sustentan la enseñanza de las ciencias. Según Gil (1993), este conocimiento incluye entender los problemas que dieron origen a los conceptos científicos, las estrategias metodológicas utilizadas en su desarrollo, y las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

El nivel de dominio del contenido influye directamente en la comunicación docente en el aula. Un mayor conocimiento del contenido se correlaciona con interacciones más concisas y efectivas, planteando preguntas más profundas y evaluando respuestas con mayor precisión (Gil, 1993). Sin embargo, es importante reconocer que el conocimiento científico de los docentes se estructura de manera distinta al de los científicos, ya que se desarrolla a partir de sus propias experiencias de aprendizaje y evoluciona durante su ejercicio profesional, moldeado por su comprensión del aprendizaje estudiantil.

Vaillant (2013) subraya que, aunque la formación inicial es crucial para impulsar innovaciones educativas, sus resultados han sido modestos según estudios recientes. Esto refuerza la necesidad de equilibrar los componentes académicos, psicopedagógicos y didácticos en los programas de formación inicial. Valencia (2019) destaca que el conocimiento práctico, adquirido a través de experiencias directas, complementa y enriquece los saberes teóricos, subrayando la importancia de metodologías activas y ejemplares basadas en corrientes contemporáneas de aprendizaje.

En conclusión, la formación inicial de profesores en ciencias debe abordar de manera integral el desarrollo de conocimientos disciplinares, competencias pedagógicas y habilidades reflexivas. Este enfoque prepara a los futuros docentes para enfrentar los desafíos educativos con estrategias basadas en la indagación, la modelización y la reflexión crítica, contribuyendo a la construcción de una educación científica inclusiva, adaptativa y alineada con los retos del siglo XXI.

### ***3.2.3. Actividad científica escolar***

La actividad científica escolar (ACE) se define como un conjunto de prácticas diseñadas para simular procesos científicos auténticos dentro del aula, con el propósito de desarrollar competencias científicas en los estudiantes. Estas prácticas incluyen la formulación de preguntas, el diseño de experimentos, la recopilación y análisis de datos, y la construcción de explicaciones basadas en evidencia (Schwarz et al., 2009). Además, implica la construcción de modelos

mediante la representación, la acción y el discurso, lo que puede aplicarse a fenómenos seleccionados por su potencial como ejemplares de las ideas a enseñar (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). La ACE trasciende la simple memorización de conceptos y motiva a los estudiantes a participar activamente en la creación de conocimiento y fomenta un aprendizaje situado y significativo de los hechos, foco de interés.

Desde una perspectiva pedagógica, la ACE busca conectar la teoría científica con las experiencias prácticas de los estudiantes. Esta conexión posibilita explorar conceptos complejos, desarrollar habilidades de razonamiento crítico y aplicar conocimientos en contextos diversos. Osborne (2014) destaca que estas actividades jalonan procesos de aprendizaje significativo al colocar a los estudiantes como protagonistas de su proceso educativo, lo que incrementa motivación y compromiso con el aprendizaje. Trabajar de esta manera también fortalece la capacidad para relacionar los conceptos científicos con situaciones reales, potenciando la relevancia del aprendizaje.

Un aspecto central de la ACE es su capacidad para integrar prácticas científicas clave, como la modelización, la indagación y la argumentación. En este contexto, la modelización se destaca como una herramienta fundamental para representar y comprender fenómenos complejos, facilitando tanto el razonamiento lógico como la resolución de problemas (Gilbert y Justi, 2016). La ACE también permite a los estudiantes experimentar el proceso de generación y validación del conocimiento científico, lo que brinda una visión dinámica y realista de cómo trabajan los científicos en la construcción de teorías y modelos cotidianamente.

El diseño e implementación de actividades científicas escolares requieren un enfoque sistemático y reflexivo por parte de los docentes. Campbell y Oh (2015) sugieren que estas actividades deben planificarse de manera que promuevan la participación, la colaboración entre los estudiantes y la reflexión crítica. Esto incluye proporcionar oportunidades para construir modelos iniciales, evaluarlos críticamente y refinarlos con base en la evidencia recopilada. Etapas

fomentan tanto el aprendizaje conceptual como el desarrollo de competencias transversales como la comunicación efectiva, la resolución colaborativa de problemas y el trabajo en equipo.

La investigación en didáctica de las ciencias ha demostrado que la ACE es efectiva para fomentar un aprendizaje profundo y el desarrollo de habilidades científicas en los estudiantes. Según Treagust et al. (2002), estas actividades ayudan a los estudiantes a visualizar conceptos abstractos, identificar patrones y establecer relaciones entre variables, mejorando significativamente su comprensión conceptual y su capacidad para resolver problemas complejos. Además, al experimentar procesos científicos auténticos, los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también desarrollan una mentalidad científica que los prepara para enfrentar desafíos globales y locales de manera informada.

Por lo tanto, la actividad científica escolar representa una estrategia pedagógica poderosa para conectar los procesos auténticos de la ciencia con el aprendizaje en el aula. A través de la integración de prácticas como la modelización, la indagación y la argumentación, la ACE facilita la construcción activa del conocimiento, desarrolla competencias científicas fundamentales y fomenta habilidades transversales necesarias para el aprendizaje en el siglo XXI. Su implementación, aunque exige planificación y reflexión por parte de los docentes, ofrece una oportunidad invaluable para transformar el aprendizaje de las ciencias en un proceso significativo, relevante y profundamente conectado con la realidad.

#### ***3.2.4. Modelos en ciencias naturales y educación ambiental***

Los modelos en ciencias son representaciones simplificadas de fenómenos, procesos o sistemas que permiten comprender, explicar y predecir comportamientos en el mundo natural. Estas representaciones, que pueden ser conceptuales, matemáticas, físicas o visuales, son esenciales en la construcción del conocimiento científico (Gilbert, 2004). En el contexto educativo, los modelos facilitan la comprensión de conceptos complejos y abstractos, promoviendo al mismo tiempo el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes.

Desde una perspectiva epistemológica, los modelos no son copias exactas de la realidad, sino herramientas que destacan aspectos relevantes de los fenómenos mientras simplifican otros para hacerlos más accesibles y útiles en la resolución de problemas. Adúriz-Bravo (2011) sostiene que los modelos cumplen diversas funciones en la ciencia, como organizar el conocimiento, comunicar ideas complejas y guiar investigaciones. Además, son dinámicos y evolucionan a medida que se adquiere nueva evidencia o se modifican las teorías científicas. La concepción basada en modelos, ampliamente desarrollada por Giere (1992, 1999), considera a los modelos como mediadores entre la teoría y la realidad, destacando su papel como representaciones no lingüísticas que permiten conceptualizar aspectos del mundo real.

En la enseñanza de las ciencias, los modelos tienen un doble propósito: facilitar la comprensión de la naturaleza provisional y cambiante de la ciencia, y servir como herramientas concretas para explorar y analizar fenómenos. Según Treagust et al. (2002), enseñar a los estudiantes a construir, usar y evaluar modelos mejora su capacidad de razonamiento crítico y fortalece su comprensión de cómo se genera y valida el conocimiento científico. Por otro lado, los modelos tienen un gran potencial para fomentar un enfoque interdisciplinario en la enseñanza, conectando conceptos de diferentes áreas científicas y vinculándolos con problemas sociales y ambientales contemporáneos. Por ejemplo, en el estudio del cambio climático, los modelos permiten analizar la interacción entre sistemas naturales y humanos, promoviendo una comprensión integral de los desafíos globales (López-Simó y Couso, 2022).

Desde la perspectiva de Giere (1988), los modelos no son meras copias de la realidad, sino construcciones abstractas que se asemejan al sistema real en aspectos relevantes, dependiendo de los paradigmas aceptados. Estos modelos actúan como mediadores entre la teoría y la realidad, permitiendo conceptualizar fenómenos naturales y facilitando la aplicación práctica de las teorías científicas.

En el aula, la representación de modelos mediante registros semióticos como diagramas, maquetas, ecuaciones o simulaciones computacionales permite a los estudiantes visualizar y analizar fenómenos complejos. Aunque las herramientas computacionales avanzadas están lejos del alcance del alumnado general, existen entornos diseñados para introducir la modelización computacional en edades tempranas, mostrando un gran potencial para promover el aprendizaje científico y la formación inicial de maestros (López-Simó y Simarro, 2024).

Tuay Sigua (2011) pone énfasis en que los modelos deben entenderse en su contexto de aplicación, donde actúan como una forma de representación. Esta mirada muestra cómo los modelos pueden representar fenómenos específicos del mundo real y, al mismo tiempo, interpretar los axiomas y leyes de una teoría científica. Estas funciones no son excluyentes; en ocasiones, los modelos desempeñan ambas simultáneamente, generando representaciones externas concretas, como diagramas, maquetas o simulaciones computacionales, que fomentan la comprensión y el análisis crítico (López-Simó y Simarro, 2024).

Finalmente, Chamizo (2010) destaca que los modelos, como representaciones, permiten derivar hipótesis y someterlas a pruebas, proporcionando nueva información sobre los fenómenos estudiados. Al integrar los modelos en la enseñanza de las ciencias, se promueve un aprendizaje basado en la comprensión teórica y la construcción activa del conocimiento. Este enfoque transforma el aula en un espacio donde los estudiantes aprenden a pensar científicamente y a interactuar con el mundo natural de manera crítica y reflexiva.

#### **3.2.4.1. Modelos científicos escolares**

En el contexto educativo, es necesario diferenciar entre los modelos científicos utilizados por la comunidad científica y aquellos que se emplean con fines pedagógicos en el aula. Esta distinción da lugar a la noción de Modelos Científicos Escolares (MCE), entendidos como representaciones didácticamente adaptadas de los modelos científicos formales, diseñadas para facilitar el aprendizaje y la construcción progresiva de significados científicos por parte del estudiantado.

Según Izquierdo y Adúriz-Bravo (2003), los MCE no son simplemente simplificaciones de modelos científicos originales, sino construcciones educativas que incorporan elementos conceptuales, lingüísticos, gráficos y simbólicos seleccionados en función de su potencial pedagógico. Estos modelos se configuran como herramientas epistémicas y didácticas, ya que representan fenómenos o sistemas desde una perspectiva teórica determinada, al mismo tiempo que facilitan la enseñanza y el aprendizaje en contextos escolares.

Adúriz-Bravo (2012) amplía esta perspectiva al señalar que los MCE cumplen múltiples funciones: permiten representar procesos, comunicar ideas, formular hipótesis, organizar contenidos y generar condiciones para la argumentación científica en el aula. En ese sentido, los MCE median entre la complejidad del conocimiento científico y la necesidad de hacerlo accesible a los estudiantes, sin perder su riqueza conceptual ni su carácter provisional y dinámico.

Por su parte, Bravo-Torija y Adúriz-Bravo (2021) proponen entender los MCE como representaciones epistémicas integradas en prácticas científicas escolares. Esto significa que no deben abordarse como objetos cerrados que los estudiantes deben memorizar, sino como representaciones que se construyen, manipulan, interpretan y transforman en función de preguntas, contextos y fenómenos específicos. Así, el trabajo con modelos científicos escolares contribuye al desarrollo de competencias científicas fundamentales, tales como la construcción de explicaciones, el razonamiento causal y la evaluación de evidencia.

La construcción de MCE también requiere considerar los aspectos socioculturales y cognitivos del aula. De acuerdo con Izquierdo y Sanmartí (2015), estos modelos deben emerger como producto de la interacción entre los saberes previos del estudiantado, las prácticas discursivas del aula y las metas formativas de la enseñanza. Esta visión se alinea con enfoques constructivistas y socioculturales de la educación científica, en los que el aprendizaje implica una participación en prácticas de modelización y no la simple recepción de contenidos prediseñados.

Teniendo en cuenta lo anterior, incorporar los MCE como eje estructurante en la enseñanza de las ciencias no solo permite acercar a los estudiantes a la forma en que se construye el conocimiento en la ciencia, sino que habilita procesos más reflexivos, participativos y contextualizados de aprendizaje. Esta perspectiva resulta especialmente pertinente para el desarrollo de propuestas formativas que busquen articular lo epistemológico con lo pedagógico, y lo disciplinar con lo social, tal como lo demanda la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental.

### ***3.2.5. Modelización en ciencias naturales***

La modelización en ciencias es una práctica central que permite representar, analizar y explicar fenómenos complejos. Esta actividad resulta esencial tanto para los científicos, al construir y validar conocimiento, como para los estudiantes, quienes aprenden a aplicar conceptos científicos en contextos reales. En el ámbito educativo, la modelización se define como el proceso de construir, probar y revisar modelos científicos para comprender y predecir fenómenos, además de resolver problemas. Este enfoque no solo conecta la teoría con la práctica, sino que también promueve competencias clave como el razonamiento crítico, la argumentación y la reflexión (Gilbert y Justi, 2016; Schwarz et al., 2009).

Desde una perspectiva epistemológica, la modelización refleja el avance de la ciencia a través de representaciones dinámicas de la realidad. Adúriz-Bravo (2011) destaca que la modelización no se limita a replicar fenómenos, sino que también busca identificar patrones, establecer relaciones y explorar posibles explicaciones. Este proceso incluye etapas como la construcción inicial de modelos, su evaluación crítica basada en evidencias y su refinamiento para adaptarse a nuevas observaciones. En este sentido, la modelización permite a los estudiantes comprender la naturaleza provisional y evolutiva del conocimiento científico.

En el ámbito educativo, la modelización es una herramienta poderosa que conecta el conocimiento científico con problemas relevantes y reales. Según Treagust et al. (2002), el uso

de modelos y modelización permite a los estudiantes visualizar conceptos abstractos, comprender sistemas complejos e integrar múltiples representaciones.

La modelización también se fundamenta en una sólida base epistemológica que permite comprender la naturaleza del conocimiento científico y su representación. Según Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009), los marcos teóricos desarrollados por autores como Giere proporcionan una plataforma conceptual para abordar el uso de modelos en la enseñanza de las ciencias. En este contexto, los estudiantes no solo adquieren conocimientos conceptuales, sino que también participan activamente en el uso, la comunicación y la evaluación de modelos científicos. Estas prácticas, como señala Acher (2021), se desarrollan en conjunto con normas discursivas e interacciones sociales que posibilitan su implementación en el aula.

En el aula de ciencias, la modelización no solo permite adquirir conocimientos conceptuales y sobre la naturaleza de la ciencia, sino que también fomenta el desarrollo de habilidades específicas de modelización. Según Couso (2020), esta actividad implica expresar, usar, evaluar y revisar modelos de manera constante. Al involucrar a los estudiantes en estas actividades, se fomenta una comprensión más profunda de los fenómenos científicos y se fortalecen competencias clave como la colaboración, el pensamiento crítico y la comunicación científica.

Considerando todo lo anterior, reconocemos las ventajas de llevar a cabo procesos de modelización en el aula de ciencias, siguiendo el ciclo propuesto por Couso Lagarón (2020) (p.68)., adoptado en la presente tesis doctoral, proporciona un marco práctico y estructurado para guiar este proceso. Este ciclo consta de seis etapas principales (ver figura 1), las etapas están propuestas para los alumnos y profesores. Este enfoque no solo organiza el aprendizaje de manera progresiva, sino que también conecta las prácticas científicas con la enseñanza de conceptos científicos en el aula.

### **Figura 1**

*Ciclo de modelización propuesto por Couso Lagarón (2020).*



*Nota.* La parte interior del diagrama muestra el ciclo sugerido para el estudiante y el exterior para el profesor, el cual se explica a continuación.

1. Problematizar: Plantear una situación contextualizada y una pregunta guía que problematicen un fenómeno.
2. Solicitar la expresión del modelo inicial: Promover el uso y expresión del modelo inicial para describir, predecir o explicar un fenómeno paradigmático.
3. Ayudar a poner a prueba el modelo: Promover el análisis de la adecuación del modelo, facilitando el estudio en profundidad del fenómeno y/o la obtención de pruebas.
4. Promover la emergencia de nuevos puntos de vista: Facilitar que se compartan y comparen ideas del estudiantado y/o visión más experta para orientar los cambios de modelo.

5. Facilitar la estructuración de las ideas en un modelo final consensuado: Guiar la negociación de un modelo consensuado y su expresión en un formato adecuado que facilite la interpretación de nuevos fenómenos.
6. Promover la aplicación y transferencia de un modelo consensuado: Invitar a usar el modelo final consensuado en la situación problemática inicial y en nuevos fenómenos y contextos

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, la modelización en ciencias es una estrategia esencial para enseñar y aprender ciencias. Su implementación permite a los estudiantes experimentar prácticas científicas auténticas, comprender la naturaleza provisional de la ciencia y desarrollar competencias transversales fundamentales para la ciudadanía científica. A través del ciclo de modelización, esta práctica se convierte en un puente entre la teoría y la práctica, facilitando una educación científica más conectada, reflexiva y relevante para los desafíos contemporáneos.

En la literatura, (Oliva, 2019) indica que se pueden tener diferentes acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias, como son:

*La modelización como progresión de modelos:* La idea de progresión en el conocimiento se relaciona con la posibilidad de establecer niveles sucesivos de sofisticación en el conocimiento en un dominio dado

*La modelización como práctica científica:* El aprendizaje basado en modelos han ido acrecentando el protagonismo del alumno en la construcción crítica y cambio de sus modelos mentales acerca del mundo. De esta manera, la modelización se comprende no solo como una manera de promover la evolución de los modelos, sino también como una oportunidad para sumergir a los estudiantes en prácticas científicas auténticas.

*La modelización en su dimensión instrumental* se apoya en diversos recursos que son considerados como herramientas para la enseñanza de ciencias. Estos recursos incluyen dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones y experimentos mentales. En

conjunto, todos estos recursos se utilizan para ayudar tanto a los estudiantes como a los profesores en tareas clave como la imaginación, reflexión, visualización, ilustración y representación.

*La modelización como estrategia de enseñanza:* La modelización proporciona criterios para seleccionar contenidos de referencia, implementar escenarios de aprendizaje adecuados e incluso diseñar secuencias de actividades o ciclos de aprendizaje coherentes con el proceso de modelización. Por lo tanto, el enfoque de la modelización ofrece elementos necesarios para desarrollar enfoques consistentes y continuos en los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula (p.14).

*La modelización como competencia:* implica un conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémicos necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar en su dimensión más amplia. No se trata solo de aprender los modelos de la ciencia escolar, sino también de trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos, así como expresar opiniones acerca de ellos, comprendiendo su valor, utilidad, naturaleza aproximada y cambiante, así como también sus limitaciones (p.10). El presente trabajo de investigación abordará de manera amplia esta acepción.

### **3.2.6. Competencias modelizadoras en la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental**

Las competencias modelizadoras se entienden como la capacidad de construir, utilizar, evaluar y modificar modelos científicos con el propósito de describir, explicar y predecir fenómenos naturales. Este conjunto de habilidades es esencial no solo para la comprensión profunda de conceptos científicos, sino también para fomentar una alfabetización científica adecuada al siglo XXI (Chiu y Lin, 2019a).

Según (Papaevripidou et al., 2014) la competencia de modelización integra dos componentes clave: las prácticas modelizadoras y el meta-conocimiento. Estas prácticas incluyen la construcción, uso, comparación y revisión de modelos, mientras que el meta-conocimiento se

refiere al entendimiento epistemológico y metacognitivo sobre la naturaleza y el propósito de los modelos.

Así mismo, Las competencias modelizadoras constituyen un conjunto esencial de habilidades y conocimientos que permiten a los individuos construir, interpretar y evaluar modelos científicos. Estas competencias no solo reflejan prácticas auténticas de la comunidad científica, sino que también facilitan la comprensión de fenómenos complejos y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas en los estudiantes (Nicolau y Constantinou, 2014; Schwarz et al., 2009). En el contexto educativo, estas competencias son fundamentales para vincular los conceptos científicos con aplicaciones prácticas y fomentar el aprendizaje significativo.

### 3.2.6.1. Componentes de las Competencias Modelizadoras

La competencia de modelización integra habilidades prácticas y conceptuales que permiten abordar problemas científicos mediante la creación, análisis y aplicación de modelos. A continuación (ver figura 2), se indican sus principales componentes:

**Figura 2**

*Componentes de las competencias modelizadoras.*



*Fuente.* Elaboración propia. Adaptado de Mei-Hung Chiu y Jing-Wen Lin (2019)

### 1. Prácticas Modelizadoras

Estas prácticas engloban las acciones específicas que realizan los estudiantes y docentes durante el proceso de modelización. Son fundamentales para el aprendizaje activo y reflexivo de las ciencias.

**Construcción de Modelos:** Es el proceso de elaborar representaciones que abstraen y simplifican un sistema o fenómeno natural. Implica identificar elementos clave, establecer relaciones entre ellos y proponer un modelo inicial. Este paso requiere habilidades de observación, análisis crítico y síntesis. *Ejemplo:* Construir un modelo molecular para representar una reacción química, destacando las interacciones entre átomos y moléculas.

**Uso de Modelos:** Consiste en aplicar modelos existentes para ilustrar fenómenos, realizar predicciones o resolver problemas. Esta práctica fomenta la comprensión del modelo como una herramienta dinámica y funcional. *Ejemplo:* Utilizar un modelo matemático para predecir la aceleración de un objeto bajo la influencia de la gravedad.

**Comparación de Modelos:** Esta habilidad implica evaluar diferentes modelos para determinar cuál es más adecuado para representar un fenómeno en particular. Este proceso desarrolla el juicio crítico y fomenta una comprensión profunda de las limitaciones y ventajas de cada modelo. *Ejemplo:* Comparar el modelo atómico de Dalton con el de Bohr para explicar la estructura de los átomos.

**Revisión y Refinamiento de Modelos:** Los modelos no son estáticos; deben ser revisados y mejorados con base en nueva evidencia o una comprensión más sofisticada del fenómeno estudiado. Este paso resalta el carácter provisional y evolutivo de los modelos científicos. *Ejemplo:* Modificar un modelo climático a medida que se recopilan nuevos datos sobre emisiones de gases de efecto invernadero.

## 2. Meta-Conocimiento

El meta-conocimiento se refiere a la reflexión sobre el propio proceso de modelización y el entendimiento epistemológico de los modelos como herramientas científicas. Este componente ayuda a los estudiantes a adoptar una perspectiva crítica y autorreflexiva.

**Conocimiento Metacognitivo:** Incluye la capacidad para planificar, monitorear y evaluar el proceso de modelización. Los estudiantes deben ser capaces de identificar los pasos seguidos, los problemas encontrados y las estrategias utilizadas para resolverlos. *Ejemplo:* Reflexionar sobre por qué un modelo específico no fue efectivo para explicar un fenómeno y cómo se podría mejorar.

**Conocimiento Epistemológico o Meta-modelización:** Este aspecto aborda el entendimiento de la naturaleza de los modelos: su propósito, sus limitaciones y su relación con la realidad. La meta-modelización fomenta una visión sofisticada de los modelos como representaciones aproximadas y cambiantes del mundo natural. *Ejemplo:* Reconocer que un modelo atómico es una representación simplificada que no capta todas las propiedades de los átomos pero que es útil para ciertos contextos.

Así mismo, la modelización involucra el uso de diversas formas representacionales que facilitan la comprensión y la comunicación de ideas científicas. Estas representaciones pueden ser visuales, matemáticas, conceptuales o simbólicas.

**Modelos Visuales:** Diagramas, mapas conceptuales o simulaciones que ayudan a representar conceptos complejos de manera accesible.

**Modelos Matemáticos:** Ecuaciones o gráficos que permiten cuantificar y predecir fenómenos científicos.

**Modelos Analógicos:** Analogías que conectan conceptos abstractos con situaciones más familiares, facilitando la comprensión inicial de ideas complejas.

La interacción entre las prácticas modelizadoras y el meta-conocimiento es crucial para formar un sistema de competencias integradas. La capacidad para construir y evaluar modelos

depende del desarrollo de una comprensión epistemológica, mientras que el uso de representaciones diversas facilita el proceso de modelización en diferentes contextos.(Aragón-Méndez y Oliva, 2019a).

## **Capítulo 4. Marco metodológico**

En el presente apartado se describe la propuesta metodológica para reconocer los criterios orientadores para la formación inicial de Docentes en ciencias naturales y educación ambiental. Se enumera el paradigma, la ruta metodológica, las técnicas de recabado para los datos, entre otros aspectos centrales para cumplir los objetivos de la investigación.

### **4.1. Paradigma**

El presente estudio se fundamenta en el paradigma constructivista, el cual proporciona la base epistemológica más adecuada para abordar los objetivos y categorías analíticas de esta investigación. Según De Zubiría (2021), el constructivismo se basa en la interpretación y reconstrucción de la realidad, partiendo del principio de que cada individuo construye su conocimiento de forma única, influido por sus experiencias previas, conocimientos y habilidades. Este paradigma reconoce, además, que el conocimiento se amplía y enriquece mediante la interacción social, lo que lo convierte en una herramienta teórica clave para comprender los procesos de formación docente desde una perspectiva situada y dinámica.

En correspondencia con su naturaleza epistemológica, el paradigma constructivista se enmarca en el enfoque interpretativo, el cual privilegia la comprensión de los significados atribuidos por los sujetos a sus experiencias. Desde esta perspectiva, el investigador asume la tarea de comprender el contexto y las vivencias de los participantes, explorando sus diversas construcciones sociales en torno al conocimiento, la enseñanza y el aprendizaje. Guba y Lincoln (1994) describen este enfoque como uno que se articula sobre tres premisas fundamentales: la naturaleza de lo que puede ser conocido (ontología), la relación entre el conocedor y lo conocido (epistemología), y la manera en que se genera el conocimiento (metodología). Esta visión ha sido actualizada y fortalecida por autores contemporáneos como Denzin y Lincoln (2018), quienes enfatizan que la investigación interpretativa busca entender el mundo desde las perspectivas internas de los participantes, reconociendo la construcción compartida de significados en

contextos históricos, sociales y culturales específicos. Estas premisas guían el análisis e interpretación de las interacciones educativas que configuran el escenario investigado.

Este enfoque resulta especialmente pertinente para los propósitos de esta tesis doctoral, orientada a interpretar las tensiones didácticas y las competencias modelizadoras que emergen en las prácticas formativas de los futuros docentes de ciencias naturales y educación ambiental. Como señala Creswell (2014), el paradigma interpretativo permite analizar fenómenos humanos desde las perspectivas de los participantes, lo cual es esencial para comprender cómo se construyen, negocian y resignifican las prácticas de enseñanza y aprendizaje en contextos auténticos. De este modo, el paradigma constructivista-interpretativo orienta tanto el diseño metodológico como la interpretación de los datos, permitiendo captar la complejidad de los procesos formativos desde una mirada contextualizada y crítica.

#### **4.2. Enfoque**

El enfoque de esta investigación es de carácter cualitativo, ya que permite una comprensión profunda, situada y contextualizada de las prácticas modelizadoras y las tensiones didácticas emergentes en la formación inicial del profesorado. Según Flick (2022), la investigación cualitativa es especialmente pertinente para abordar fenómenos sociales complejos en su contexto natural, permitiendo captar los significados construidos por los sujetos y comprender las dinámicas sociales que subyacen en sus discursos, acciones y decisiones. Este enfoque resulta adecuado para analizar las propuestas didácticas elaboradas por los futuros docentes de ciencias naturales, al ofrecer herramientas interpretativas que permiten explorar datos narrativos y discursivos que reflejan su realidad educativa.

Stake (2010) señala que la investigación cualitativa se caracteriza por su capacidad de captar la subjetividad de los fenómenos, describiéndolos en sus contextos naturales y sin reducirlos a expresiones estadísticas. Asimismo, Dalle et al. (2005) afirman que este enfoque reconoce el papel activo del investigador en el proceso de producción del conocimiento, promoviendo una reflexión crítica sobre su influencia en la interpretación. Esta postura ha sido

reafirmada por Denzin y Lincoln (2018), quienes destacan que la investigación cualitativa se basa en una relación dialógica con los participantes y busca interpretar el mundo social desde su perspectiva, reconociendo los marcos culturales e históricos que configuran sus experiencias.

El enfoque cualitativo posiciona al investigador dentro del campo de estudio, permitiéndole una inmersión comprometida en los contextos educativos para comprender las prácticas, percepciones y significados atribuidos por los participantes. Como plantea Pérez Gómez (1994), el lenguaje actúa como una herramienta central en la construcción del conocimiento, al posibilitar la representación simbólica de las experiencias humanas. En esa misma línea, Flick (2015) destaca que este tipo de investigación no parte de hipótesis previas rígidas, sino que permite que las categorías conceptuales emerjan durante el desarrollo del estudio, adaptándose a la complejidad del fenómeno investigado.

Desde esta perspectiva, la investigación cualitativa se orienta a comprender el mundo de la experiencia vivida desde la visión de los propios actores sociales (Taylor Y Bogdan, 1987). Este proceso inductivo permite analizar las situaciones tal como ocurren en la realidad, sin manipulaciones, y facilita una aproximación comprensiva a las vivencias educativas. Hernández et al. (2014) subrayan que los datos emergentes en este tipo de estudios son esenciales para generar interpretaciones significativas y contextualizadas, contribuyendo al enriquecimiento de la comprensión de los fenómenos educativos.

#### **4.3. Método**

El presente estudio adopta el método de estudio de caso como estrategia metodológica central, enmarcado dentro del enfoque cualitativo e interpretativo. Esta elección responde a la necesidad de comprender en profundidad las prácticas modelizadoras, las tensiones didácticas emergentes y las competencias que se configuran en la formación inicial de futuros docentes de ciencias naturales y educación ambiental. El estudio de caso permite explorar fenómenos complejos y contextualizados, preservando la riqueza del escenario natural donde estos tienen

lugar, lo cual es esencial en investigaciones educativas orientadas a la comprensión e interpretación de procesos formativos (Stake, 2010; Merriam, 2009).

Desde esta perspectiva, el estudio de caso resulta pertinente cuando se busca investigar una unidad específica —en este caso, un grupo de docentes en formación—, considerando las múltiples dimensiones que configuran su realidad educativa. Flyvbjerg (2011) subraya que este método posibilita una exploración intensiva de situaciones concretas, lo que favorece la generación de conocimiento significativo y transferible. Por su parte, Mariano (1999) argumenta que los estudios de caso, al desarrollarse en contextos naturales, permiten captar la complejidad de los hechos educativos tal como ocurren en la vida cotidiana, sin intervención ni manipulación artificial. Así, este enfoque posibilita una comprensión situada y profunda de las interacciones pedagógicas, epistémicas y reflexivas que emergen en el proceso de formación docente.

En el ámbito de la investigación educativa, los estudios de caso han demostrado ser especialmente útiles para examinar prácticas pedagógicas, innovaciones didácticas y procesos de aprendizaje desde una perspectiva holística. Walker (2002) señala que este método permite al investigador identificar avances, desafíos y particularidades en la aplicación de estrategias de enseñanza, lo que resulta fundamental para el análisis crítico de procesos formativos. En este estudio, el método de caso facilita el examen detallado de las competencias modelizadoras expresadas en las secuencias didácticas diseñadas por los futuros docentes, así como de las tensiones didácticas que emergen durante la planificación, implementación y reflexión de sus prácticas.

Siguiendo la clasificación propuesta por Martínez (2006), los estudios de caso pueden asumir una orientación descriptiva o exploratoria. En el presente trabajo se opta por un estudio de caso de carácter exploratorio, dado que se pretende vincular las categorías teóricas relacionadas con la modelización científica y la formación docente con las experiencias reales observadas en un contexto específico. Este tipo de estudio permite generar comprensiones

fundadas en la evidencia empírica, sin aspirar a generalizaciones estadísticas, pero sí a la transferibilidad del conocimiento a situaciones educativas similares (Lincoln Y Guba, 1985).

Adicionalmente, se adopta un diseño de caso simple con estructura incrustada, según la tipología de Yin (2003). Esto implica que, aunque el estudio se centra en un solo caso, el grupo de docentes en formación de Ciencias Naturales y Educación ambiental, se identifican varias unidades de análisis al interior de este. Estas unidades comprenden: (a) las competencias modelizadoras expresadas en las producciones de los DFI; (b) las tensiones didácticas identificadas; y (c) las propuestas didácticas desarrolladas en el marco de la actividad académica. Esta estructura permite integrar múltiples fuentes de información (cuestionarios abiertos, observaciones no participantes y análisis de secuencias didácticas), contribuyendo a una triangulación metodológica que fortalece la validez del estudio (Denzin, 2018).

Cabe señalar que el objetivo de este estudio no es establecer generalizaciones universalizables, sino comprender un fenómeno en su singularidad, generando hallazgos relevantes para el diseño de criterios orientadores en la formación inicial docente. Tal como advierte Monje (2010), el estudio de caso en el paradigma cualitativo permite revisar y afinar las categorías analíticas a la luz de los datos empíricos, bajo la guía de proposiciones teóricas previamente establecidas. Esta articulación entre teoría y evidencia favorece una comprensión rigurosa e integral del fenómeno investigado, manteniendo un equilibrio entre el marco conceptual y la realidad situada.

#### **4.4. Contexto de la investigación**

En todas las investigaciones en las que participan seres humanos, resulta fundamental contextualizar y delimitar el entorno en el cual se pretende desarrollar el estudio. Para la presente investigación, la población objeto de análisis está conformada por docentes en formación inicial en ciencias naturales y educación ambiental, pertenecientes a dos programas de licenciatura acreditados en instituciones de educación superior colombianas también acreditadas. Esta

selección responde a criterios de calidad académica, pertinencia en el ámbito de la formación docente, y representatividad en el contexto educativo nacional.

Colombia cuenta con 349 instituciones de educación superior, de las cuales 114 ofrecen programas de licenciatura. De estas, solo 27 incluyen la licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental, y únicamente seis de estas licenciaturas están acreditadas, garantizando estándares de calidad. Para esta investigación, se seleccionaron la Universidad Surcolombiana (USCO) y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). La elección de estas instituciones se sustenta en su enfoque en la formación integral e investigativa, y su impacto en las regiones donde operan, que representan contextos educativos y socioculturales diversos.

### ***Universidad Surcolombiana (USCO)***

La Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la USCO, adscrita a la Facultad de Educación, tiene como misión formar educadores con un enfoque humanista e integral, que sean capaces de innovar en los procesos pedagógicos de las ciencias naturales y la educación ambiental. Este programa que tiene acreditación de alta calidad y hace parte de una universidad con la misma distinción, se caracteriza por su énfasis en la investigación como eje transversal, formando profesionales que no solo son docentes competentes, sino también mediadores activos en procesos educativos que impactan a su comunidad.

### **La elección de la USCO responde a varios factores educativos y sociales:**

*Enfoque en la educación ambiental:* este aspecto es fundamental para la investigación, dado que aborda competencias modelizadoras en un área clave de las ciencias naturales.

*Impacto regional:* ubicada en Neiva, la USCO desempeña un papel importante en la formación de docentes en el sur del país, contribuyendo al desarrollo educativo y ambiental de una región con una amplia biodiversidad y retos sociales.

*Estudiantes en práctica profesional:* la investigación se focalizó en estudiantes de VIII semestre que cursaban la asignatura Práctica Docente III: Social Comunitaria y Educación

Ambiental e Investigación. Esto permitió analizar sus competencias modelizadoras en un contexto práctico y comunitario, esencial para los objetivos del estudio.

### **Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)**

La Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la UPTC, adscrita a la Facultad de Ciencias de la Educación, se orienta hacia la formación de docentes con excelencia académica, investigativa y pedagógica. Su misión enfatiza el desarrollo sostenible, la inclusión, el respeto por la diversidad y la generación de conocimiento que transforme realidades educativas y sociales. Así mismo, es un programa con acreditación de alta calidad al igual que la Universidad.

#### **La selección de la UPTC como parte del estudio responde a razones específicas:**

*Trayectoria académica:* La UPTC es una institución reconocida a nivel nacional por su enfoque en la formación docente, combinando teoría y práctica en su currículo.

*Enfoque interdisciplinario:* La licenciatura fomenta el desarrollo de un currículo flexible y socialmente pertinente, lo que encaja con los principios de enseñanza por modelización investigados.

*Representatividad regional:* Ubicada en Tunja, la UPTC contribuye al desarrollo educativo en el centro del país, ofreciendo una perspectiva complementaria a la de la USCO.

*Estudiantes en práctica pedagógica:* La investigación se desarrolló con estudiantes de IX semestre que cursaban Práctica Pedagógica e Investigativa Disciplinar, con el fin de observar el diseño e implementación de propuestas didácticas basadas en competencias modelizadoras.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, la elección de estas dos instituciones responde a su capacidad para ofrecer datos representativos y con la posibilidad de contrastar en el marco del panorama educativo colombiano. Mientras que la USCO refleja las dinámicas de formación en una región biodiversa y con retos sociales importantes, la UPTC representa un contexto académico más centralizado, pero con un enfoque interdisciplinario y de liderazgo en la región. Ambas universidades cuentan con programas acreditados de alta calidad que garantizan

la preparación de docentes competentes, lo cual facilita el análisis de las prácticas modelizadoras y las tensiones didácticas emergentes desde una perspectiva amplia y diversa.

#### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

El análisis de datos en esta investigación cualitativa tiene como propósito principal comprender en profundidad las competencias modelizadoras y las tensiones didácticas que emergen en los futuros docentes de ciencias naturales y educación ambiental. Para que luego se puedan proponer criterios orientadores para algunos programas de licenciatura. Por lo anterior, se implementaron diversas técnicas que aseguran un análisis sistemático y detallado, utilizando instrumentos que estructuran y sintetizan la información recolectada de manera precisa.

Estas técnicas e instrumentos fueron seleccionados cuidadosamente por su capacidad para abordar la naturaleza compleja y subjetiva de los datos cualitativos, respetando los principios del paradigma constructivista e interpretativo que orienta este estudio. A continuación, se presenta la tabla 14, que detalla cada técnica, instrumento y su respectiva descripción y en la figura 3, el tributo a los objetivos:

**Tabla 13**

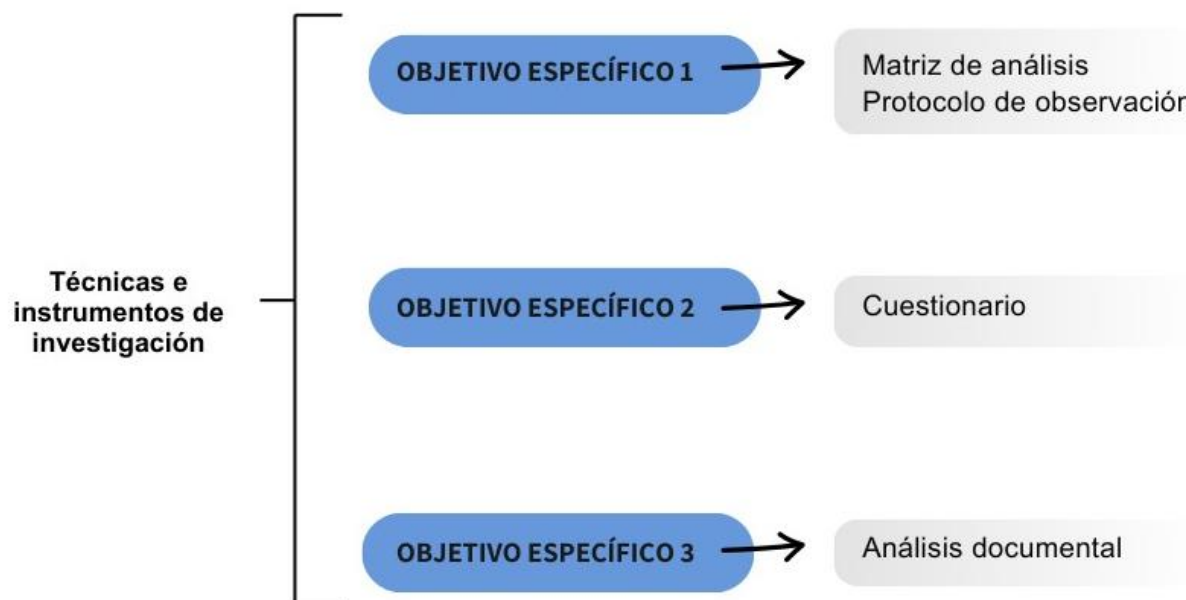
*Técnicas e instrumentos de investigación*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Descripción</b>
Observación participativa	matriz de análisis; Protocolo de observación	Documentación estructurada de interacciones grupales e individuales, analizando dinámicas y comportamientos relevantes en actividades prácticas.
Encuesta	Cuestionario	Diseño de preguntas abiertas para identificar tensiones didácticas emergentes y explorar competencias modelizadoras en futuros docentes.
Análisis documental	Secuencias escolares de aprendizaje (SEA)	Evaluación cualitativa de diseños didácticos, enfocándose en la integración de elementos modelizadores y la identificación de tensiones didácticas.

Fuente. Elaboración propia.

**Figura 3**

*Relación de las técnicas e instrumentos con los objetivos de investigación.*



El diseño e implementación de estas estrategias metodológicas buscan garantizar una aproximación real e integral que aborden todos los objetivos de la investigación. Los datos obtenidos proporcionan insumos valiosos para analizar las prácticas de modelización propuestas por los futuros docentes, así como las tensiones y desafíos didácticos que surgen durante su formación inicial. De esta manera, el estudio no solo contribuye a comprender las dinámicas educativas actuales, sino que también ofrece orientaciones clave para mejorar los procesos de formación docente en el campo de las ciencias naturales y la educación ambiental.

#### **4.6. Ruta metodológica**

La ruta metodológica diseñada para esta investigación doctoral se articula de manera coherente con los aspectos fundamentales que guían el análisis de las competencias modelizadoras, las tensiones didácticas emergentes y las prácticas modelizadoras propuestas por los docentes en formación inicial. Cada categoría se ha estructurado con técnicas, fuentes y propósitos específicos, con el fin de garantizar un abordaje integral de los objetivos planteados.

Esta organización metodológica (ver Tabla 15) busca responder de manera rigurosa a la pregunta central de investigación y generar aportes significativos al campo de la formación docente en ciencias naturales y educación ambiental.

**Tabla 14**

*Organización metodológica de la tesis*

Aspectos y Categoría de Análisis	Método de recolección	Fuentes	Propósitos
Competencias Modelizadoras	Cuestionarios, análisis de rúbricas y modelos gráficos	Docentes en formación inicial (DFI)	Analizar el desarrollo y nivel de apropiación de las competencias modelizadoras.
Tensiones Didácticas	Entrevistas semi-estructuradas y análisis cualitativo	Respuestas a cuestionarios y discusiones grupales	Identificar tensiones didácticas emergentes y comprender su impacto en el proceso de enseñanza.
Prácticas de Modelización	Observación de actividades y análisis de productos finales (SEA)	Diseños didácticos y productos elaborados por los DFI	Evaluar cómo las prácticas propuestas reflejan competencias adquiridas.

Fuente: elaboración propia.

La ruta metodológica presentada refleja una visión sistemática y estratégica que refleja las diferentes dimensiones de la investigación. La integración de diversas técnicas y fuentes permite un análisis profundo y enriquecedor de las competencias modelizadoras y las prácticas asociadas a su desarrollo. Este enfoque no solo facilita el cumplimiento de los objetivos propuestos, sino que también asegura que los resultados obtenidos contribuyan de manera significativa a la construcción de criterios orientadores que impacten positivamente en la formación inicial de los futuros docentes en ciencias naturales y educación ambiental.

#### **4.7. Triangulación de la información**

La triangulación constituye una estrategia clave en los estudios cualitativos para enriquecer la comprensión de los fenómenos investigados y aumentar la solidez de los hallazgos. Esta técnica no solo permite contrastar diferentes fuentes de información, sino también fortalecer la validez interna del estudio al integrar múltiples perspectivas teóricas, metodológicas y

analíticas. En el campo de las ciencias sociales y educativas, su aplicación responde a la necesidad de captar la complejidad de las prácticas humanas desde una mirada interpretativa, situada y multirreferencial.

Según Flick (2022), la triangulación metodológica favorece una comprensión más profunda de los fenómenos al incorporar distintas técnicas de recolección de información, combinando registros, enfoques y visiones que se entrecruzan en el proceso analítico. En este estudio, se asumió dicha perspectiva para integrar diversas fuentes (cuestionarios, observaciones y documentos), técnicas (análisis de contenido y codificación temática), e instrumentos, lo cual permitió enriquecer las interpretaciones, reconocer patrones emergentes y contrastar los resultados obtenidos. Este enfoque contribuyó significativamente a la credibilidad y transferibilidad de los hallazgos, ya que permitió revisar las categorías analíticas a la luz de datos provenientes de diferentes niveles de producción.

**Tabla 15**

*Proceso de triangulación*

1. Triangulación de fuentes		
Se consideraron múltiples fuentes de información para captar una visión integral del fenómeno investigado.	Docentes en formación inicial (DFI)	Las percepciones, reflexiones y productos elaborados por los DFI fueron el eje principal del análisis, permitiendo identificar patrones en sus competencias modelizadoras y las tensiones didácticas que enfrentaron.
	Diseños didácticos (SEAs)	Las secuencias escolares de aprendizaje (SEA) propuestas por los participantes se analizaron en profundidad, proporcionando evidencia concreta de cómo se aplicaron las competencias modelizadoras en el diseño pedagógico.
	Documentación teórica y curricular	Se revisaron marcos conceptuales y curriculares relacionados con la modelización y la formación docente, lo que permitió contextualizar y fundamentar los hallazgos.
2. Triangulación de técnicas e instrumentos		
Se utilizaron diferentes técnicas	Cuestionarios	Estos permitieron recopilar datos estandarizados sobre las competencias modelizadoras y las etapas del ciclo de

e instrumentos para recolectar y analizar la información, lo que permitió contrastar los datos obtenidos desde diversas perspectivas:	modelización desarrolladas por los participantes.	Las representaciones gráficas y los diseños elaborados por los participantes se evaluaron mediante rúbricas específicas, proporcionando evidencia objetiva del nivel de apropiación de las competencias modelizadoras.
	Observación directa	Se registraron dinámicas durante la implementación de actividades modelizadoras, enriqueciendo el análisis con datos contextuales.

### 3. Triangulación analítica

Se emplearon diferentes enfoques analíticos para interpretar la información:	Codificación cualitativa	A partir de la codificación abierta, axial y selectiva, se identificaron patrones emergentes y relaciones entre categorías, conectando datos proporcionados que fueron narrativos y/o visuales.
	Análisis descriptivo	Los datos recolectados mediante cuestionarios se analizaron para identificar tendencias o tensiones generales en el desarrollo de competencias modelizadoras.
	Revisión cruzada	Los hallazgos obtenidos de diferentes instrumentos (entrevistas, cuestionarios y productos) se compararon para asegurar la consistencia y robustez de las interpretaciones.

### 4. Triangulación de perspectivas

Para enriquecer la interpretación, se incluyeron las perspectivas de los participantes	Las reflexiones de los DFI	Permitieron analizar su experiencia desde su propio punto de vista en la que ofrecieron un análisis crítico sobre las prácticas y tensiones identificadas.
----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

#### **4.8. Consideraciones éticas e integridad científica en la investigación**

A continuación, se presentan las consideraciones éticas e integridad científica de la investigación, aplicada a los DFI de la Universidades participantes, que involucra la validación de los instrumentos implementados, los protocolos éticos abordados y la correspondiente consideración de conflicto de intereses.

##### ***4.8.1. Validación de Instrumentos y Consideraciones Éticas***

Para garantizar la calidad y confiabilidad de los instrumentos de los instrumentos usados en la recolección de información, se consultó a tres expertos: dos especializados en modelización en ciencias y uno en validación de instrumentos de investigación. Estos especialistas realizaron aportes significativos tanto en el contenido como en la forma de los instrumentos, asegurando su pertinencia y precisión. Según Martínez y Galán (2014), la validez de los instrumentos es esencial para verificar que estos contienen la información necesaria para responder de manera efectiva a los objetivos de la investigación.

Posteriormente, se tramitaron y gestionaron las aprobaciones éticas requeridas. En primer lugar, se presentó la investigación ante el Comité de Ética, Bioética e Integridad Científica de la Universidad Santo Tomás, obteniendo su aval (ver Apéndice A). Seguidamente, se solicitó autorización a las instituciones objeto de estudio, la Universidad Surcolombiana (USCO) y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) (ver Apéndice B). Una vez recibida la aceptación por parte de los directores de las licenciaturas en ciencias naturales y educación ambiental, se procedió con la intervención en los contextos educativos.

##### ***4.8.2. Protocolos Éticos Implementados***

Antes de iniciar la recolección de datos, se entregaron a los participantes de las instituciones, los siguientes documentos (ver Apéndices C-F):

1. Descripción general de la investigación: Incluye los objetivos, metodología y alcances del estudio.

2. Declaración de conflicto de intereses: Garantiza la ausencia de relaciones personales o laborales entre la investigadora y las instituciones o participantes.
3. Protocolo de confidencialidad: Establece las medidas para proteger la identidad y privacidad de los participantes.
4. Protocolo de habeas data: Asegura la protección y uso adecuado de los datos personales recolectados.

En estos documentos, se destacaron principios éticos primordiales, como el derecho de los participantes a decidir libremente su colaboración en el estudio y la protección de sus datos personales.

Asimismo, la investigadora se comprometió ante las instituciones a socializar los resultados de la investigación una vez concluido el proceso.

#### **4.8.3. Consideración de Conflictos de Intereses**

En esta investigación no existe ningún conflicto de intereses por parte de la investigadora. No se mantiene relación laboral, personal, académica o económica con las instituciones ni con los participantes involucrados en el estudio. Conforme a los principios éticos de integridad científica establecidos por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS, 2021), se entiende por conflicto de intereses cualquier situación en la que los intereses personales, institucionales o financieros puedan comprometer la objetividad, independencia o imparcialidad del proceso investigativo.

En consonancia con las directrices de Minciencias (2022), este estudio declara explícitamente la ausencia de beneficios personales, compromisos previos, o influencias externas que puedan afectar el desarrollo, los resultados o la divulgación de la investigación. La transparencia en este aspecto garantiza que las decisiones metodológicas y analíticas han estado orientadas exclusivamente por criterios científicos, éticos y académicos, salvaguardando la autonomía investigativa.

## 4.9. Estrategia de recolección de datos

### 4.9.1. Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje Modelizadora

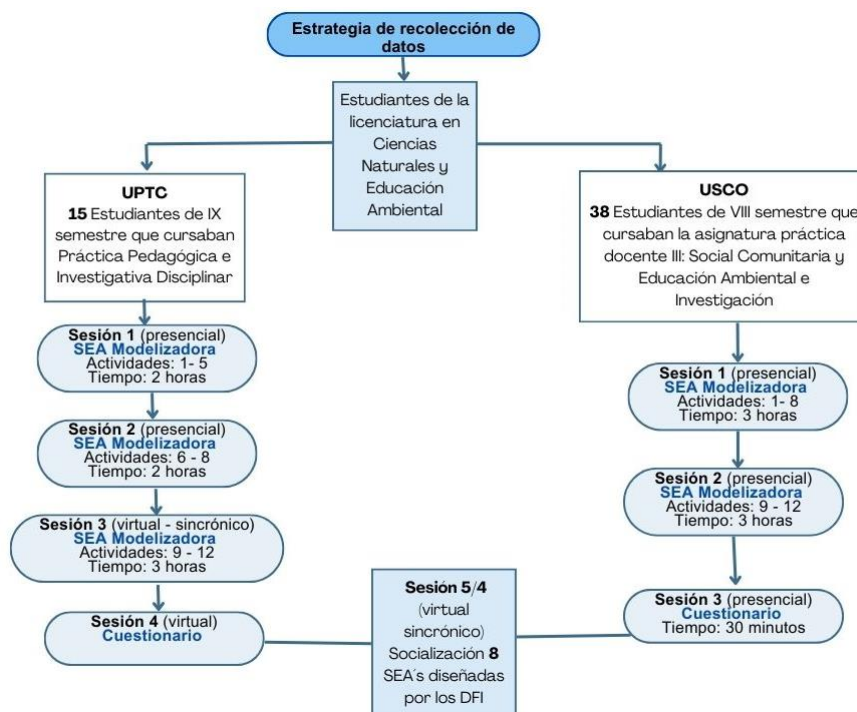
El desarrollo de competencias modelizadoras es esencial para la enseñanza de las ciencias, ya que estas competencias permiten a los docentes representar, interpretar y predecir fenómenos científicos complejos.

A continuación, se relacionan los datos obtenidos de la secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) modelizadora diseñada, (ver apéndice G), aplicada a 53 docentes en formación inicial (DFI) de ciencias naturales y educación ambiental. Los datos permiten analizar el desarrollo de las competencias modelizadoras, identificando los niveles de apropiación alcanzados a partir de las actividades implementadas.

En la figura 4, se aprecia las sesiones realizadas en cada una de las universidades y la caracterización de la población.

#### Figura 4

Contexto de la estrategia de recolección de datos.



Fuente. Elaboración propia.

La SEA se diseñó, asumiendo las competencias modelizadoras, luego de la adaptación de las prácticas modelizadoras usando el ciclo de modelización para el estudiantado y el profesorado propuesto Couso (2020) como marco metodológico (ver tabla 17).

Este ciclo incluye seis fases:

**Tabla 16**

*Fases del ciclo de modelización para el estudiante y el profesor*

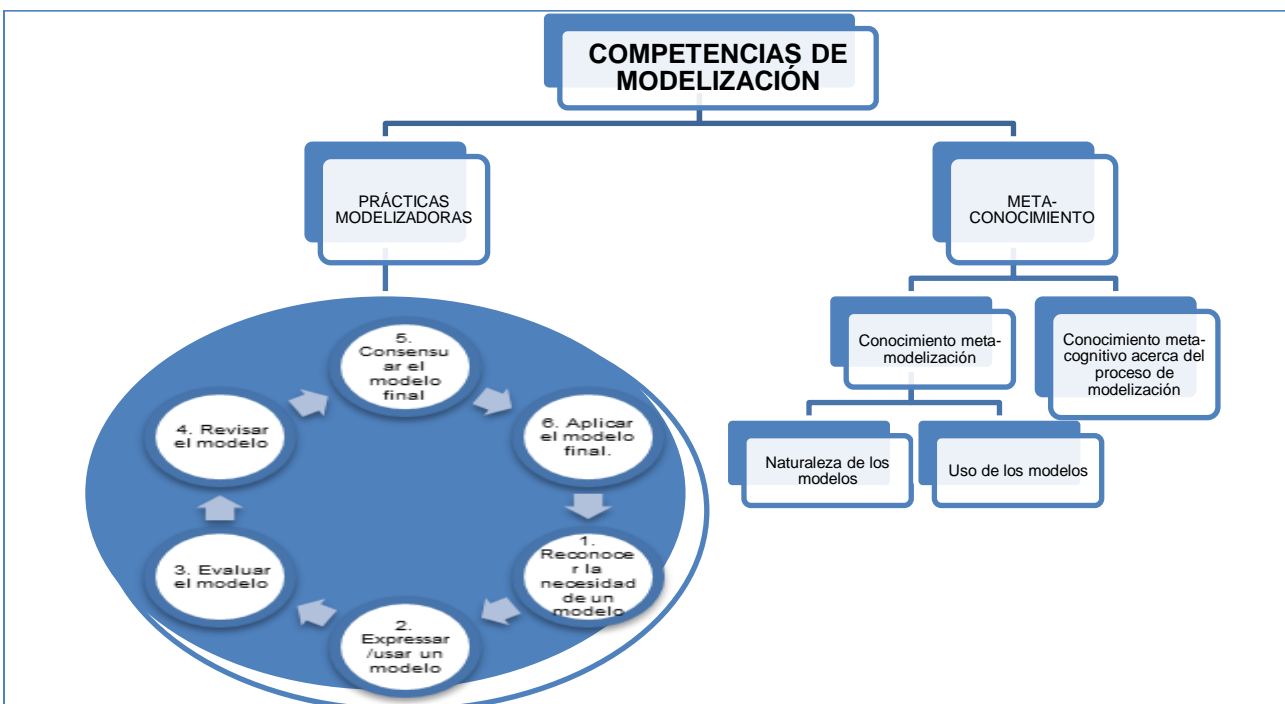
<b>CICLO DE MODELIZACIÓN</b>		
<b>FASE</b>	<b>ESTUDIANTES</b>	<b>PROFESORES</b>
	<b>Prácticas de modelización</b>	<b>Fases de la secuencia de enseñanza y aprendizaje centrada en modelizar</b>
<b>1</b>	Reconocer la necesidad de un modelo.	<b>Problematizar:</b> plantear una situación contextualizada y una pregunta guía que problematicen un fenómeno.
<b>2</b>	Expresar y usar un modelo inicial.	<b>Solicitar la expresión del modelo inicial:</b> promover el uso y expresión del modelo inicial para describir, predecir o explicar un fenómeno paradigmático.
<b>3</b>	Evaluar el modelo.	<b>Ayudar a poner a prueba el modelo:</b> promover el análisis de la adecuación del modelo, facilitando el estudio en profundidad del fenómeno y/o la obtención de pruebas.
<b>4</b>	Revisar el modelo.	<b>Promover la emergencia de nuevos puntos de vista:</b> facilitar que se compartan ideas del alumnado y/o visiones más expertas para orientar los cambios en el modelo.
<b>5</b>	Consensuar un modelo final.	<b>Facilitar la estructuración de las ideas en un modelo final consensuado:</b> guiar la negociación de un modelo consensuado y su expresión en un formato adecuado que facilite la interpretación de nuevos fenómenos.
<b>6</b>	Aplicar el modelo final	<b>Promover la aplicación y transferencia de un modelo consensuado:</b> invitar a usar el modelo final consensuado en la situación problemática inicial y en nuevos fenómenos y contextos.

Fuente: Elaboración propia con base en Couso (2020)

Además, se enfatiza el papel del metaconocimiento, entendido como la reflexión sobre el propósito, las limitaciones y los usos de los modelos científicos, según (Chiu y Lin, 2019b). Para la presente investigación, se realizó la adaptación de las competencias modelizadoras, asumiendo los aportes de (Couso Lagarón, 2020; Papaevripidou et al., 2014a) (ver figura 5).

**Figura 5**

Componentes de la competencia de modelización



*Fuente.* Elaboración propia. Adaptado de adaptación de (Couso Lagarón, 2020; Papaevripidou et al., 2014a) .

Se realizó una adaptación de las dimensiones evaluadas para los modelos más sofisticados dentro del Marco de Competencia de Modelización propuesto en el estudio de (Papaevripidou et al., 2014a), que son aquellos que representan completamente el fenómeno, explican cómo ocurre mediante una interpretación mecanicista, exponen por qué ocurre mediante una interpretación causal, tienen la capacidad de hacer predicciones sobre futuros estados del fenómeno, la definición que se adoptó para cada uno de ellos se relaciona a continuación:

**Representación del fenómeno:** Se refiere a qué tan completa y precisa es la representación de un fenómeno en el modelo. Un modelo de bajo nivel de representación puede omitir componentes clave, mientras que un modelo más sofisticado incluirá todos los elementos necesarios para describir el fenómeno de manera completa. En esta investigación, se

identificarán niveles progresivos de representación del fenómeno, desde modelos superficiales hasta modelos completos que incluyen todos los componentes clave.

**Interpretación mecanicista:** hace referencia a la capacidad del modelo para explicar cómo funciona un fenómeno. Un modelo con una interpretación mecanicista incluye los mecanismos y procesos subyacentes que hacen que el fenómeno ocurra. En la investigación, se señalarán que los modelos con niveles más altos de sofisticación, los cuales deben ser capaces de representar el mecanismo detrás del fenómeno y no solo describirlo superficialmente.

**Interpretación causal:** se relaciona con la explicación de por qué ocurre un fenómeno. Mientras que la interpretación mecanicista se centra en los procesos, la interpretación causal busca establecer relaciones causa-efecto que expliquen las razones detrás del comportamiento del fenómeno modelado. Los modelos con mayor nivel de desarrollo integran tanto una interpretación mecanicista como una interpretación causal.

**Poder predictivo:** se refiere a la capacidad del modelo para predecir estados futuros o comportamientos del fenómeno. Un modelo con alto poder predictivo no solo representa y explica el fenómeno, sino que también permite anticipar lo que sucederá bajo diferentes condiciones. En el estudio, los niveles más avanzados de modelización incluyen un fuerte poder predictivo, lo que significa que el modelo es útil para hacer inferencias sobre el comportamiento futuro del sistema modelado.

Ahora bien, para que los DFI tuvieran la experiencia de vivir en primera persona las prácticas modelizadoras, se diseñó una SEA con uno de los modelos científicos más centrales, potentes fructíferos y unificadores de la ciencia “la energía”, que sin lugar a dudas es uno de los conceptos más relevantes en el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias: está presente transversalmente en la mayoría de los currículos escolares y es una de las grandes ideas científicas que se pueden adquirir en la escolarización obligatoria, como lo indica (Doménech - Casal, 2018) citado en (Soto y Couso, 2023). No obstante, abordar la energía de manera general

puede resultar ambiguo, por lo tanto, se tuvo en cuenta el currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad (ver figura 6), propuesto por (López-Simó y Couso, 2022).

**Figura 6**

*Ideas clave sobre energía.*



Fuente: elaboración propia con base en (López-Simó y Couso, 2022)

La descripción y progresión detallada de las ideas de energía a lo largo de la escolaridad se encuentra en el apéndice I

La SEA modelizadora que se diseñó para la presente investigación se basó en la idea de energía que aborda el *Impacto ambiental (idea 7)*. Para ampliar la explicación, se refiere a que el uso de la energía siempre conlleva consecuencias para el medio ambiente. Estas pueden manifestarse en la explotación de recursos naturales, la contaminación derivada de la quema de combustibles fósiles o la generación de residuos, como en el caso de la energía nuclear. Aunque la Tierra tiene cierta capacidad para absorber estos impactos, el uso intensivo de combustibles fósiles ha desencadenado una crisis climática sin precedentes. La enseñanza de esta idea debe ayudar a los estudiantes a identificar los efectos ambientales de las distintas fuentes de energía y a reflexionar sobre la importancia de optar por modelos energéticos más sostenibles.

En el texto de referencia, también se menciona que el impacto ambiental puede variar en magnitud, siendo mínimo en casos como el uso de molinos tradicionales o significativo, como en las centrales eléctricas de carbón. Asimismo, este impacto puede manifestarse en la explotación de recursos, como el *fracking*, que en esta investigación fue la técnica empleada para la obtención de energía y de esta manera se abordó la práctica modelizadora.

A continuación, se comparte el esquema de la secuencia didáctica de enseñanza y aprendizaje, para construir la idea de energía concerniente al impacto ambiental.

#### **4.9.1.1. Fases del Ciclo de Modelización y Actividades**

El diseño siguió las seis fases del ciclo de modelización, que se explican a continuación:

##### **Fase modelizadora 1: Reconocer la necesidad de un modelo**

Se da la bienvenida a la secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre energía y su impacto ambiental. La cual busca fomentar la construcción de un modelo escolar mediante la modelización en ciencias. Para dar una introducción a la temática se invita a los DFI a realizar la **actividad 1**, que consiste en observar el siguiente cómic (Lanzarote y Comunicación, 2011), (ver

figura 7), conformado por 24 páginas que permite mostrar de manera didáctica distintos dispositivos de aprovechamiento energético. Si bien, el cómic hace referencia a una situación que difícilmente se podría producir en la realidad, brinda un punto de partida interesante para la discusión y una idea de lo que se abordará en la SEA.

[https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/14094/1/0713232\\_00000\\_0000.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/14094/1/0713232_00000_0000.pdf)

### Figura 7

Muestra de algunas páginas del cómic



Posteriormente, para la **actividad 2**, se comparte con los participantes una serie de imágenes que representan distintos escenarios. (ver figura 8)

### Figura 8

Imágenes relacionadas con energía e impacto ambiental



No obstante, antes de adentrarse en las reflexiones, se propone a los participantes responder algunas preguntas a través de la aplicación *mentimeter*.

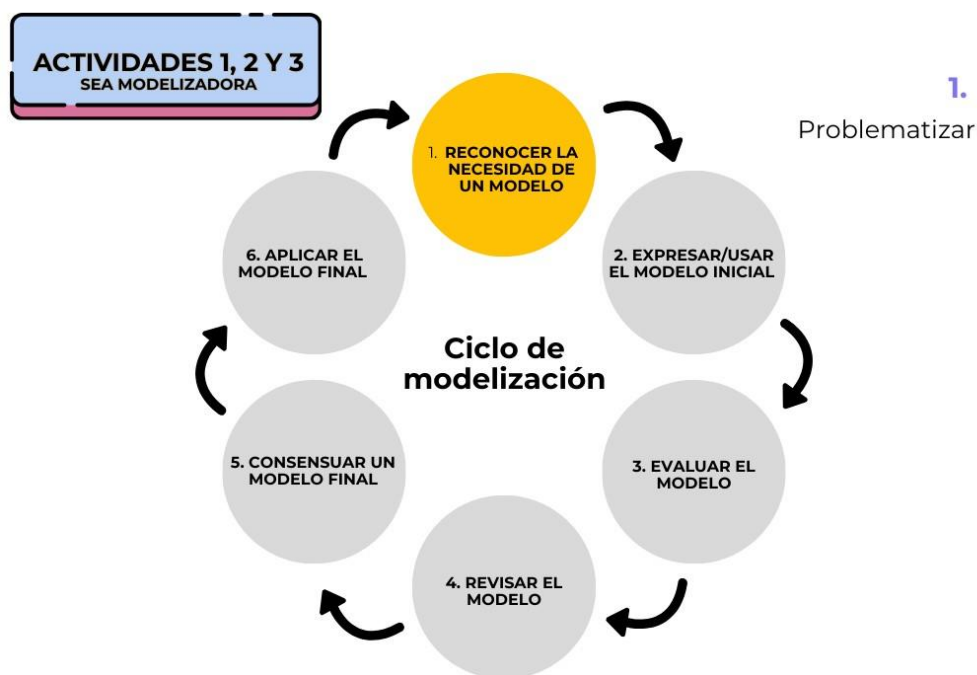
Además, se sugiere como **actividad 3**, considerar la siguiente frase como punto de partida para el análisis y reflexión:

"El equilibrio entre las necesidades energéticas y la preservación del medio ambiente es un desafío crucial en la actualidad, donde fenómenos como la transferencia de energía, la conservación de la materia y la dinámica de los ecosistemas juegan un papel fundamental."

Las actividades 1, 2 y 3 fueron diseñadas para responder a la primera fase del ciclo de modelización propuesto por Couso (2020), (ver figura 9) denominada reconocer la necesidad de un modelo. Esta fase tiene como propósito que los estudiantes identifiquen fenómenos cuya complejidad requiere ser abordada mediante representaciones explicativas. En este caso, las actividades iniciales permitieron introducir el fenómeno del impacto ambiental asociado al uso de la energía, mediante diversos estímulos representacionales: narrativo, visual e interpretativo.

### Figura 9

Actividades de la fase 1 del ciclo de modelización



Fuente. Elaboración propia.

La actividad 1 consistió en la lectura de un cómic que ilustraba diferentes dispositivos de aprovechamiento energético, promoviendo la activación de saberes previos y generando contrastes entre la ficción y la realidad energética.

En la actividad 2 se presentaron imágenes que mostraban distintos escenarios vinculados al uso de la energía y sus efectos sobre el ambiente, lo cual incentivó la problematización del fenómeno. Se realizaron las preguntas ¿Qué similitudes encuentras en estas imágenes?, ¿Qué conceptos o principios científicos le vienen a la mente al observarlas? (ver apéndice J)

La actividad 3, por su parte, introdujo una frase detonante con implicaciones conceptuales relacionadas con la transferencia de energía, la conservación de la materia y la dinámica de los ecosistemas.

A partir de esta frase, se solicitó a los docentes en formación su participación oral, con el objetivo de identificar sus ideas iniciales, interpretaciones espontáneas y posibles explicaciones previas. Estas intervenciones permitieron evidenciar la comprensión del fenómeno, lo cual indicó la necesidad de construir un modelo que permitiera integrar de manera coherente los distintos elementos observados. En conjunto, estas tres actividades generaron las condiciones didácticas necesarias para cumplir con los propósitos de la primera fase del ciclo de modelización, favoreciendo la disposición hacia la indagación, la representación y la construcción de explicaciones fundamentadas.

### **Fase modelizadora 2: Expresar/usar el modelo inicial**

La **actividad 4**, consistió en realizar la siguiente lectura, que comprende el resumen, traducción y adaptación del texto: *Currículum operatiu per a l'ensenyament de l'energia: clarificació conceptual i didáctica* (López-Simó, Víctor) 2021

#### **EL USO DE LA ENERGÍA SIEMPRE IMPLICA UN IMPACTO AMBIENTAL**

*Todas las acciones humanas tienen un impacto directo o indirecto en el medio ambiente, pueden ser efectos muy pequeños (como es el caso de los molinos tradicionales) o muy grandes (como con las centrales eléctricas de carbón). Puede ocurrir en la explotación de recursos (como en el fracking, o con la extracción de materias primas para fabricar baterías para almacenar energía) o en forma de residuos y contaminación (como en los gases contaminantes emitidos por los medios de transporte), e incluso en*

*algunos casos puede “retrasarse” en forma de riesgo ambiental (como sucede con los residuos nucleares subterráneos), no obstante, estos no desaparecen.*

*La Tierra es capaz de absorber y compensar algunos de estos impactos, aunque de forma moderada y lenta. En las últimas décadas, los impactos ambientales que se están dando con la quema de combustibles como principal causa de emisiones de gases de efecto invernadero están produciendo una crisis climática sin precedentes en la historia de la humanidad, con efectos muy dañinos en la vida de los humanos en la Tierra.*

*A lo largo de la historia, hemos utilizado objetos e inventos para mejorar nuestras vidas. Sin embargo, esta búsqueda de comodidad y progreso ha tenido un impacto significativo en nuestro entorno. Por ejemplo, los vehículos motorizados, han cambiado radicalmente nuestra forma de desplazarnos, pero también han contribuido a la contaminación ambiental.*

*Cuando interactuamos con la naturaleza y sus recursos energéticos, como la tierra, los alimentos, el agua y el aire, a menudo lo hacemos de manera inconsciente. Utilizamos estos recursos para satisfacer nuestras necesidades diarias, como el transporte, la calefacción y el uso de dispositivos electrónicos. Sin embargo, cada vez que hacemos uso de ellos, estamos afectando la calidad del medio ambiente.*

*Existen muchas maneras de aprovechar las fuentes de energía del planeta, y cada una provoca un tipo de impacto distinto en el medio ambiente. Las fuentes no renovables, como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, son las que tienen un mayor impacto, ya que generan residuos contaminantes que provocan gases de efecto invernadero y contribuyen negativamente al calentamiento del planeta (o bien residuos nucleares muy peligrosos para la salud de los seres vivos si no están bien protegidos). Las fuentes renovables, como la eólica, la hidráulica, la geotérmica o la solar, tienen un impacto menor, ya que no generan residuos contaminantes, pero también pueden impactar negativamente en el medio ambiente. Por ejemplo, la energía hidráulica requiere modificar el curso de los ríos, y la energía eólica necesita ocupar extensiones importantes del territorio. Además, para fabricar placas fotovoltaicas o baterías, se necesitan minerales que son escasos en la Tierra y que hay que extraer de minas.*

Posteriormente, En el marco de la SEA, se aborda la **actividad 5**, a partir de un tema de gran relevancia. Aunque se reconoce que ciertas prácticas de explotación de recursos naturales pueden generar controversia debido a sus posibles efectos negativos en el medio ambiente, también es esencial tener en cuenta que estas técnicas pueden conllevar beneficios significativos en términos de producción. Con ese contexto, se realizó la siguiente pregunta:

¿Qué saben sobre la explotación hidráulica *Fracking*? a lo cual cada uno de los DFI compartió su respuesta.

Para dar continuidad al desarrollo de la SEA modelizadora, se realiza la **actividad 6**, que involucra la observación de los siguientes videos, los cuales son didácticos y muestran una versión simplificada de la técnica de explotación hidráulica:



<https://www.youtube.com/watch?v=TVZ0DOZ59SAyt=28s>



<https://www.youtube.com/watch?v=RPDtD0IP1I0>

Para la **actividad 7**, se solicitó a los docentes en formación inicial (en Ciencias Naturales y Educación Ambiental) representar, a través de un modelo gráfico, el proceso de fracturación hidráulica (*fracking*), junto con su funcionamiento y posibles impactos ambientales. (Ver apéndice -registro fotográfico-)

Posteriormente, para continuar con esta fase modelizadora, se realiza la **actividad 8**, en la que se solicita a los futuros docentes de Ciencias Naturales y Educación ambiental, que completen la información a partir de los procesos realizados en el *fracking* (ver tabla 25), identificando procesos técnicos, ventajas y desventajas e impactos ambientales.

### **Tabla 17**

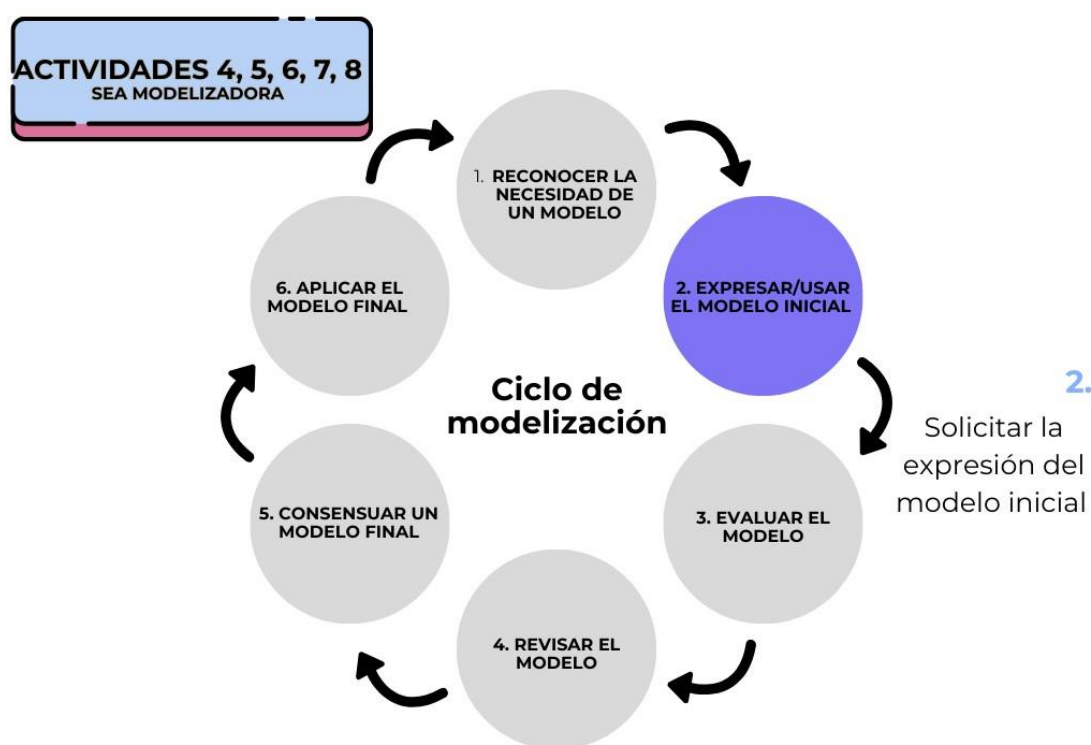
*Identificación de ventaja, desventaja e impacto ambiental de los procesos realizados en el fracking.*

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
<p>La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas</p> <p>La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas</p> <p>Se requiere entre 9000 y 23000 m<sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo</p> <p>Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan</p> <p>La técnica de fracturación hidráulica genera la emisión de dióxido de carbono</p> <p>La técnica de fracturación hidráulica libera gas metano (CH<sub>4</sub>) contribuye a la formación del ozono troposférico</p> <p>Los residuos químicos tienen un comportamiento distinto dependiendo de cada ecosistema, por ejemplo, en las zonas tropicales o de niebla</p> <p>La técnica del fracking genera la producción de petróleo y gas en menor tiempo</p>			

Las actividades 4 a 8 respondieron a la segunda fase del ciclo de modelización propuesto por Couso (2020), correspondiente a la expresión y uso del modelo inicial. Esta fase tiene como propósito que los estudiantes externalicen sus ideas previas y comiencen a representarlas de manera explícita, ya sea a través de esquemas, representaciones gráficas o explicaciones orales y escritas (ver figura 10).

### Figura 10

*Actividades de la fase 2 del ciclo de modelización.*



*Fuente.* Elaboración propia.

En primer lugar, se propuso la actividad 4, la cual consistió en la lectura, traducción y adaptación de un fragmento del texto de López-Simó (2021), que describe las implicaciones ambientales del uso de diferentes fuentes de energía. Esta lectura permitió ofrecer un marco conceptual introductorio para orientar las ideas iniciales de los docentes en formación.

Posteriormente, en la actividad 5, se les planteó la pregunta “¿Qué saben sobre la explotación hidráulica Fracking?”, con el fin de que expresaran por escrito sus conocimientos previos. Esta intervención individual permitió recolectar un primer conjunto de representaciones espontáneas sobre el fenómeno energético abordado.

En la actividad 6, los docentes visualizaron dos videos educativos sobre el fracking, lo cual brindó insumos audiovisuales para enriquecer su comprensión del proceso. A continuación, en la actividad 7, se solicitó a los participantes construir un modelo gráfico que representara el proceso de fracturación hidráulica, incluyendo su funcionamiento técnico y los posibles impactos ambientales asociados. Esta representación constituyó el producto central de esta fase, ya que evidenció las primeras formas estructuradas de modelización del fenómeno por parte de los futuros docentes.

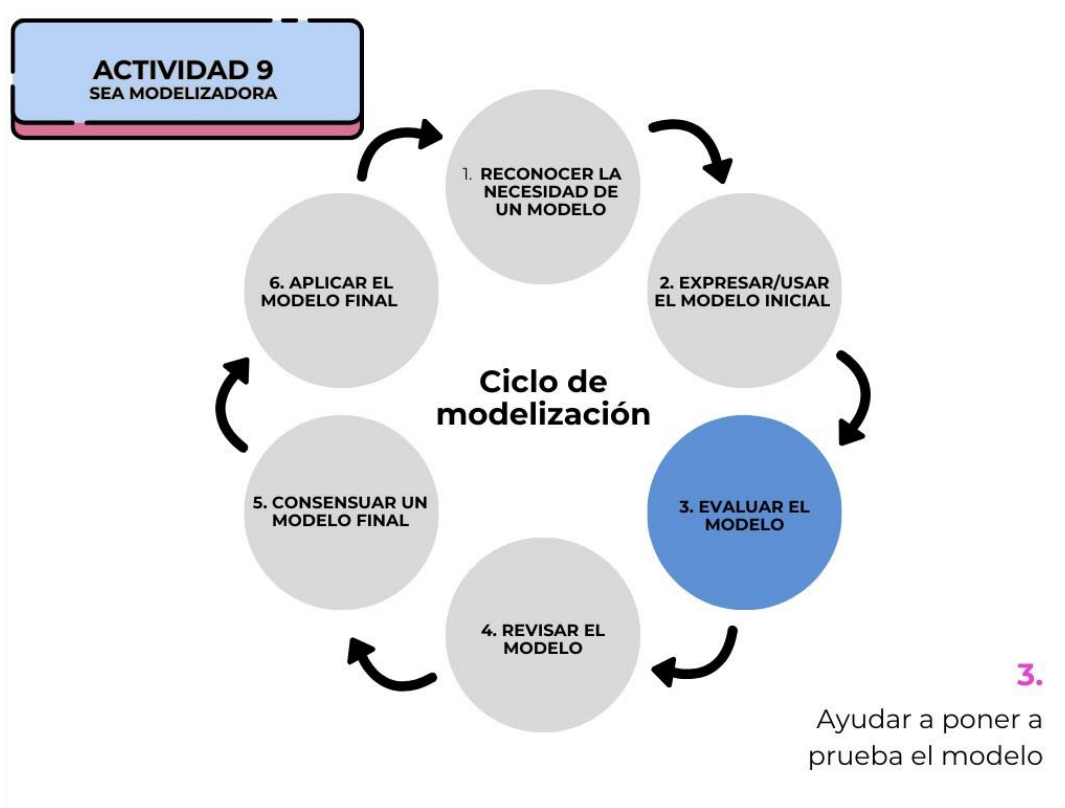
Finalmente, en la actividad 8, los participantes completaron una tabla analítica que les permitió identificar, con base en los procesos técnicos del fracking, sus ventajas, desventajas e impactos ambientales. En conjunto, estas actividades promovieron el tránsito desde concepciones implícitas o fragmentadas hacia la construcción y uso de un modelo inicial, articulando elementos técnicos, causales y valorativos que posteriormente serían evaluados y refinados en las siguientes fases del ciclo de modelización.

### **Fase modelizadora 3: evaluar los modelos**

La **actividad 9** fue diseñada para implementar la tercera fase del ciclo de modelización propuesto por Couso (2020), denominada *evaluar el modelo*. Esta fase tiene como objetivo que los estudiantes contrasten sus modelos iniciales con nuevas evidencias o enunciados, de modo que puedan analizar su adecuación, identificar limitaciones o inconsistencias, y poner a prueba su capacidad explicativa (ver figura 11).

Figura 11

Actividades de la fase 3 del ciclo de modelización.



Fuente. Elaboración propia

En este caso, se solicitó a los docentes en formación seleccionar, de un conjunto de afirmaciones relacionadas con el uso de la energía y su impacto ambiental, aquellas que consideraran más acertadas o pertinentes (máximo cinco). Las afirmaciones fueron elaboradas a partir del currículo operativo de la energía, específicamente de las ideas clave 5, 6 y 7 (López-Simó Y Couso, 2022), lo cual garantizó la solidez conceptual del instrumento. (ver tabla 27).

Tabla 18

*Afirmaciones para evaluar el modelo energético de impacto ambiental.*

La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la	Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles	A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente	Cada tipo de tecnología (eólica, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de
----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

<p>energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares. Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación.</p>	<p>fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático.</p> <p>La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol. El viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción.</p>	<p>transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios.</p> <p>Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto.</p>	<p>aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables.</p> <p>Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados.</p>
<p>Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando eso obliga a cambiar nuestra sociedad.</p>	<p>Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo.</p>	<p>Para evitar la contaminación debemos promover y hacer uso otras fuentes de energía.</p>	<p>Las energías renovables como la eólica, la solar e hidráulica generan un impacto ambiental mínimo.</p>

*Nota.* Las afirmaciones se tomaron del mapa de progresión de las ideas 5, 6 y 7 del currículo operativo de la energía, establecido por (López-Simó y Couso, 2022)

Esta actividad permitió que los participantes contrastaran sus representaciones iniciales con formulaciones progresivamente más complejas y articuladas, favoreciendo así un proceso de reflexión sobre la validez, suficiencia y coherencia de sus modelos. Además, constituyó un mecanismo eficaz para recoger evidencias sobre cómo los futuros docentes evalúan conceptualmente sus propias explicaciones y con qué criterios reconocen el valor explicativo o predictivo de ciertos enunciados. Por tanto, esta estrategia favoreció el desarrollo de la

competencia modelizadora en su dimensión evaluativa, promoviendo el juicio crítico y la revisión fundamentada de los modelos construidos.

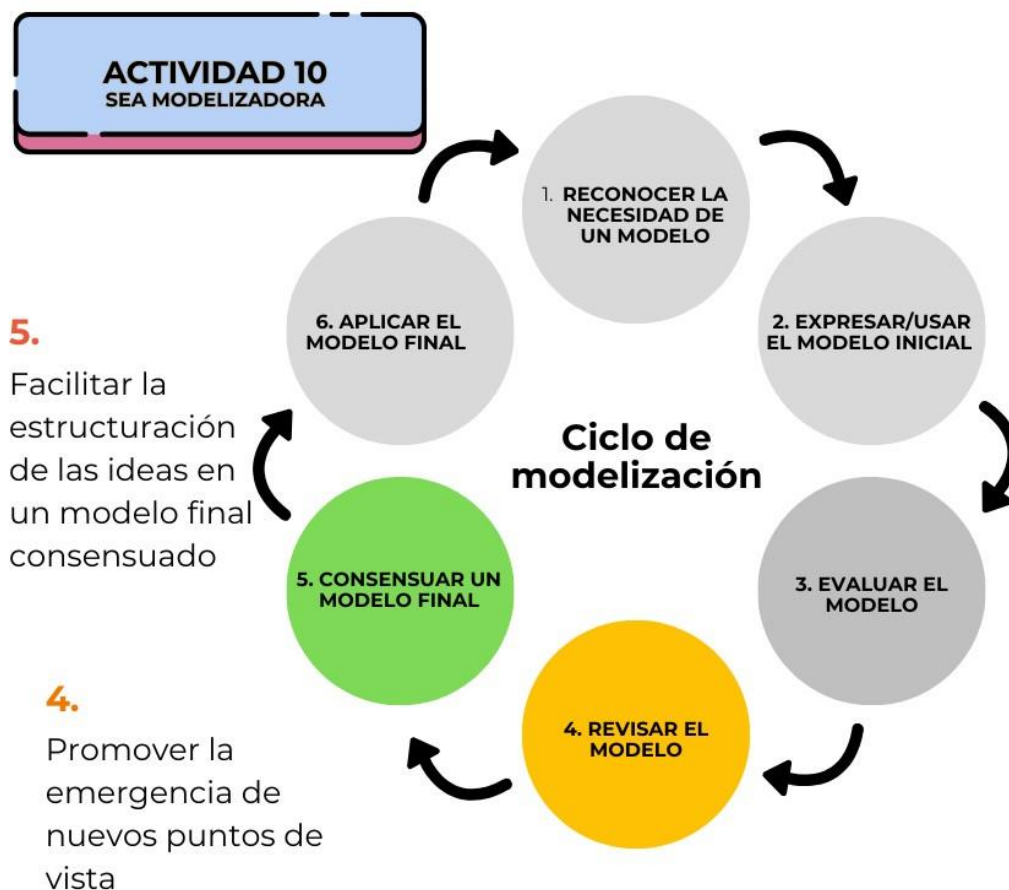
#### **Fase modelizadora 4 y 5: Revisar y consensuar el modelo**

Las fases 4 y 5 del ciclo de modelización, corresponden respectivamente a *revisar el modelo* y *consensuar un modelo final* (ver figura 12). Estas fases buscan que los estudiantes analicen críticamente sus representaciones iniciales, reconozcan la necesidad de ajustes y mejoras, y participen en la construcción colectiva de un modelo más robusto y compartido. Para ello, se desarrolló una actividad en la que los docentes en formación socializaron ante sus compañeros el modelo gráfico previamente elaborado sobre el proceso de fracking y sus impactos ambientales.

Durante la socialización, se incentivó la argumentación técnica y la discusión de los elementos incluidos en cada propuesta, permitiendo a los participantes complementar su modelo de manera oral, incorporando aspectos que no habían sido considerados inicialmente. Asimismo, los demás integrantes del grupo realizaron preguntas y observaciones que promovieron la reflexión crítica y la revisión colaborativa. Esta interacción a través del diálogo favoreció la identificación de fortalezas y vacíos en los modelos presentados, y generó un espacio para el intercambio de ideas orientado a consensuar una representación más precisa, coherente y comprensiva del fenómeno modelado. En este sentido, la actividad permitió recoger evidencias sobre la capacidad de los futuros docentes para revisar sus explicaciones a la luz de nuevas perspectivas, así como para construir modelos más elaborados mediante el diálogo y la negociación argumentada, lo cual es fundamental en el desarrollo progresivo de la competencia modelizadora.

#### **Figura 12**

*Actividades de la fase 4 y 5 del ciclo de modelización.*



### Fase modelizadora 6: aplicar el modelo

La sexta fase del ciclo de modelización, corresponde a aplicar el modelo, cuyo propósito es utilizar la representación consensuada previamente para explicar nuevos fenómenos o predecir comportamientos en contextos diferentes. Para llevar a cabo esta fase, se diseñó la **actividad 11**, en la que los docentes en formación aplicaron el modelo final sobre impacto ambiental, construido colectivamente en las fases anteriores, al análisis de diversas fuentes de energía renovable (ver Tabla 30).

### Tabla 19

*Tabla comparativa de fuentes de energía: Beneficios, Desafíos e impacto ambiental.*

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	DESAFÍOS	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA			
GEOTÉRMICA			

---

 HIDRÁULICA
 

---

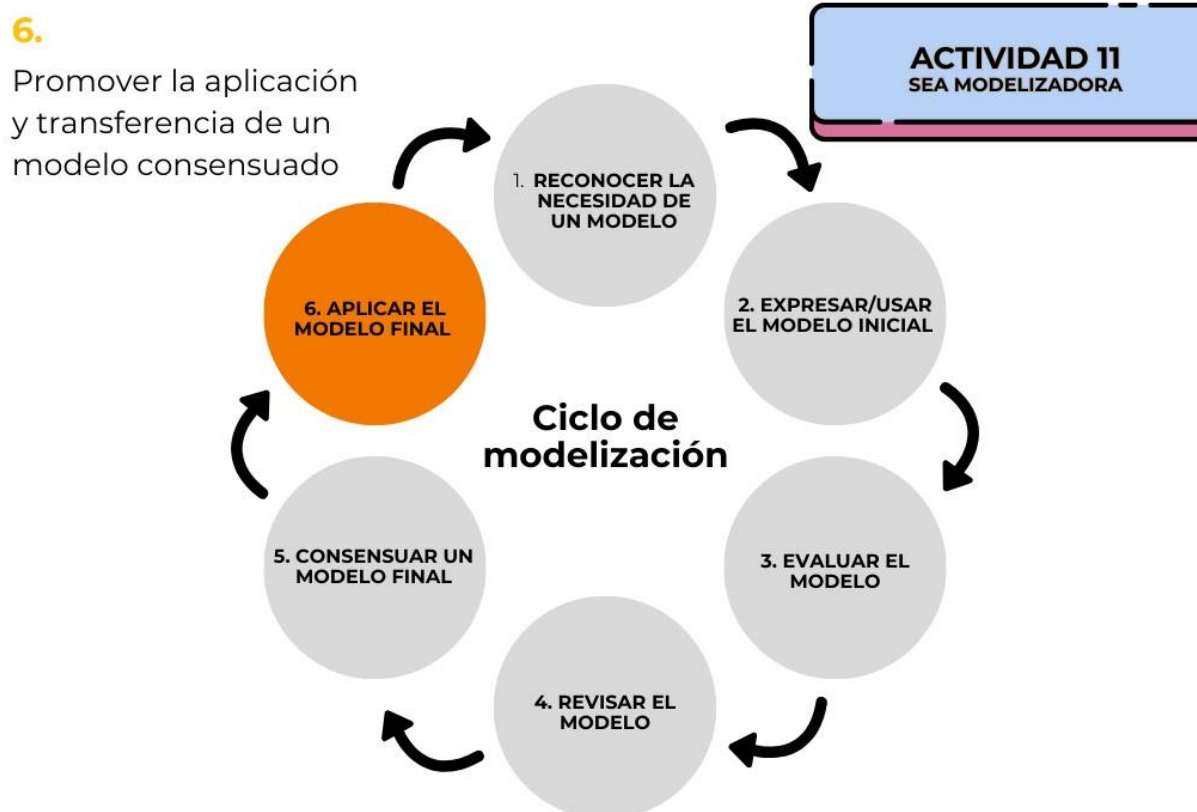
 SOLAR
 

---

La actividad consistió en valorar las ventajas, desafíos e impactos ambientales de fuentes como la energía eólica, solar, geotérmica e hidráulica, a partir del marco conceptual trabajado. Además, se solicitó a los participantes proponer estrategias didácticas o acciones pedagógicas que integraran los conceptos clave del modelo, permitiendo así su transferencia a escenarios escolares (ver figura 13).

### Figura 13

*Actividades de la fase 6 del ciclo de modelización*



Fuente. Elaboración propia.

Esta fase fue fundamental para evaluar la capacidad de los futuros docentes de aplicar de manera funcional y contextualizada los conocimientos modelizados, favoreciendo la generalización del modelo a situaciones nuevas y complejas. Asimismo, permitió recoger

evidencias sobre su habilidad para proyectar el modelo como recurso pedagógico, integrando dimensiones ambientales, tecnológicas y educativas en la enseñanza de las ciencias. En este sentido, la actividad respondió plenamente a los objetivos de esta fase, promoviendo una comprensión más profunda del fenómeno energético y su potencial formativo en el contexto escolar.

#### **4.9.1.2. Cuestionario**

Como parte de la estrategia metodológica para recolectar información relacionada con el segundo objetivo específico, se aplicó un cuestionario estructurado, adaptado de Soto Alvarado (2019) (ver Apéndice H). Este instrumento fue aplicado al finalizar la implementación de la Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje (SEA), con el propósito de obtener información cualitativa sobre la percepción de los participantes en relación con las actividades desarrolladas, las dificultades enfrentadas y las valoraciones pedagógicas del enfoque de modelización.

El cuestionario incluyó seis preguntas abiertas y semiestructuradas. Las preguntas 1 y 2 indagaron por las actividades más útiles para comprender la idea de energía en relación con el impacto ambiental y por elementos ausentes o mejorables en la SEA.

**Pregunta 1:** ¿Cuáles de las actividades realizadas en la SEA (Secuencia Escolar de Aprendizaje) le han sido más útiles para comprender el concepto de energía, específicamente en relación con la idea de impacto ambiental?

**Pregunta 2:** ¿Qué considera que le falta a la SEA que le hubiera ayudado en una mejor construcción de conocimiento?

Variedad de Metodologías y Recursos.

Las preguntas 3 y 4 tenían combinación de formato cerrado y abierto. **Pregunta 3:** A continuación, se presenta una serie de actividades desarrolladas en el seminario a través de la SEA. Marque con una cruz (X) las 5 actividades que le han servido más para aprender sobre ciencias. (ver tabla 33).

**Tabla 20***Actividad del cuestionario*

<b>Reconocer la necesidad de un modelo</b>		Cómic introductorio. Reflexión inicial a partir de imágenes, preguntas orientadoras y una frase clave. Lectura para ampliar los conocimientos sobre el tema. Respuesta a la pregunta: "¿Qué sabes sobre la explotación hidráulica ( <i>fracking</i> )?"
<b>Expresar usar modelo</b>	/ el	Visualización de videos sobre el tema. Descripción de los procesos asociados a la técnica de explotación hidráulica ( <i>fracking</i> ) utilizando una imagen, considerando el impacto ambiental. Descripción de ventajas, desventajas e impacto ambiental de los procesos asociados al <i>fracking</i> .
<b>Evaluar modelo</b>	el	Selección de textos relacionados con la energía y su impacto ambiental. Compartir y discutir con los compañeros el modelo diseñado
<b>Revisar modelo</b>	el	sobre impacto ambiental asociado al <i>fracking</i> . Compartir con los compañeros las ventajas, desventajas e impacto ambiental de los procesos asociados al <i>fracking</i> .
<b>Consensuar un modelo final</b>		Consensuar y llegar a acuerdos en grupo sobre un modelo final.
<b>Aplicar modelo final</b>	el	Escribir sobre las ventajas, inconvenientes e impacto ambiental de diferentes fuentes de energía.

**Pregunta 4** – De las 5 actividades que seleccionaste, ordénalas de mayor a menor importancia. Explica brevemente por qué consideras que estas actividades fueron las más relevantes para tu aprendizaje.

La pregunta 5 buscó explorar la capacidad de los participantes para explicar, con sus propias palabras, el enfoque de modelización en ciencias.

**Pregunta 5:** Si tuviera que explicar a alguien que no conoce este enfoque didáctico (Modelización en ciencias), ¿cómo lo explicaría?

Finalmente, la pregunta 6 propuso un ejercicio de diseño reflexivo, en el cual los docentes en formación describieron cómo conciben una clase de ciencias ideal, considerando aspectos como el rol del estudiante, la integración teoría-práctica y las metodologías más efectivas. Las respuestas fueron sometidas a un proceso de lectura analítica, codificación abierta y

categorización axial, lo que permitió identificar patrones recurrentes, tensiones formativas y elementos clave en la apropiación del enfoque modelizador por parte de los participantes.

**Pregunta 6:** Describa cómo sería su clase de ciencias ideal. Considere los siguientes aspectos:

1. ¿Qué tipo de actividades cree que debería implementar el docente?
2. ¿Cómo debería ser la relación entre la teoría y la práctica en la clase?
3. ¿Cómo deberían interactuar los estudiantes entre sí y con el profesor?
4. ¿Cuál considera que debería ser el papel de los estudiantes en la clase? ¿Cómo cree que deberían aprender?
5. ¿Qué estrategias didácticas o metodológicas piensa que serían más efectivas para el profesor en este contexto?

Puede añadir otros aspectos que considere importantes.

#### **4.9.1.3 SEA´s diseñadas por los DFI**

Como tercera estrategia de recolección de datos, se solicitó a cada docente en formación inicial (DFI) que diseñara una nueva secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) centrada en el enfoque de modelización en ciencias. Para esta actividad, se indicó que eligieran una idea clave de energía del *currículo operativo de energía* propuesto por López-Simó y Couso (2022), distinta a la trabajada durante el seminario con la investigadora (la idea n.º 7 sobre impacto ambiental).

Esta tarea tuvo como propósito evaluar la apropiación autónoma del enfoque modelizador por parte de los participantes, así como su capacidad para transferir los principios pedagógicos y epistemológicos trabajados previamente a un nuevo diseño didáctico. Los DFI debían presentar por escrito su propuesta, explicando de manera estructurada la idea de energía seleccionada, el modelo escolar que deseaban promover, los propósitos de aprendizaje, las actividades propuestas y las fases del ciclo de modelización que serían implementadas.

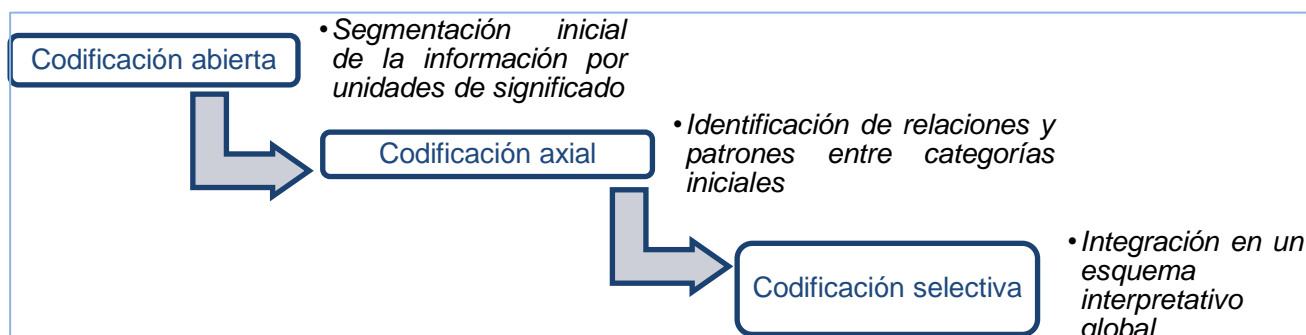
Esta producción escrita permitió analizar cómo los futuros docentes integraban el ciclo de modelización, qué tensiones o limitaciones surgían en su diseño y hasta qué punto relacionaban las competencias modelizadoras en contextos escolares. Posteriormente, se llevó a cabo un encuentro sincrónico virtual, en el cual cada participante tuvo la oportunidad de exponer su SEA ante la investigadora, docentes expertos en modelización y sus compañeros.

Estas socializaciones permitieron recoger evidencias complementarias sobre sus decisiones pedagógicas, su argumentación didáctica, el uso del lenguaje profesional y su nivel de reflexión crítica sobre el proceso de diseño. La interacción durante este espacio favoreció el análisis colectivo, la retroalimentación entre pares y la identificación de desafíos emergentes en la implementación del enfoque de modelización en la formación inicial docente. Esta estrategia fue clave para cumplir con el tercer objetivo específico de la investigación, orientado a evaluar las prácticas modelizadoras propuestas por los futuros docentes, en términos de coherencia, viabilidad y fundamentación didáctica.

#### **4.10. Estrategia de análisis de datos**

A continuación, se expone la estrategia implementada para la recolección de datos de los docentes en formación inicial de las licenciaturas en ciencias naturales y educación ambiental de las universidades participantes. El proceso se fundamentó en un análisis sistemático, guiado por técnicas de codificación que permitieron organizar, categorizar e interpretar la información de manera estructurada, asegurando su alineación con los objetivos específicos de la investigación.

La codificación fue el eje metodológico para desglosar y analizar los datos cualitativos. Este proceso incluyó tres etapas principales, como lo indica (Bénard et al., 2016) la codificación son etiquetas descriptivas para un conjunto de eventos que comparten características entre sí, en la que se pretende lograr la primera conceptualización a partir de un análisis microscópico de los datos, definido como el análisis detallado línea por línea, que hace parte de una combinación abierta, axial y selectiva. Ver Figura 14

**Figura 14***Fases de la codificación*

Para este trabajo de investigación, la *codificación abierta* consiste en la segmentación inicial de la información recolectada en unidades de significado. Estas unidades se identificaron a partir de la participación de los DFI, las respuestas de los cuestionarios y productos elaborados en el proceso. Se buscó descomponer los datos en las siguientes categorías básicas:

*Codificación axial*: En esta etapa, las categorías iniciales se conectaron entre sí para identificar relaciones y patrones comunes. Por ejemplo, las respuestas relacionadas con la falta de contextualización en actividades didácticas y las dificultades en la integración de tecnología se agruparon bajo la categoría "tensiones didácticas emergentes". Este paso permitió organizar las categorías en dimensiones analíticas más amplias, vinculándolas con los objetivos específicos de la investigación.

*Codificación selectiva*: Finalmente, se integraron las categorías y relaciones identificadas en un esquema interpretativo global. En esta fase, se priorizaron los aspectos más relevantes de los datos, como los desafíos en la construcción de modelos y las tensiones en la implementación de prácticas modelizadoras, para conectarlos con los marcos sustentados en la teoría y referenciados con anterioridad.

Para interpretar las competencias modelizadoras de los docentes en formación inicial a partir de las actividades realizadas en las distintas etapas del ciclo de modelización, cada participante se identificó mediante un código único (DFI1, DFI2, ..., DFI53), que facilitó la

organización de la información en matrices analíticas. La representación gráfica, las interpretaciones mecanicistas y las relaciones causales observadas fueron categorizadas y analizadas para identificar niveles de apropiación de las competencias.

El análisis de las narrativas recogidas en entrevistas y cuestionarios se realizó mediante codificación abierta para identificar elementos clave de las tensiones didácticas. Posteriormente, la codificación axial permitió agrupar estas tensiones en categorías relacionadas con los desafíos específicos del proceso formativo, como la desconexión entre teoría y práctica o la limitada integración de recursos tecnológicos. Este enfoque proporcionó una visión comprensiva de las tensiones recurrentes y su impacto en la dinámica de enseñanza-aprendizaje.

La codificación descriptiva permitió identificar elementos específicos en los diseños didácticos elaborados por los participantes. Las categorías iniciales incluyeron componentes como representación inicial de fenómenos, refinamiento de modelos y aplicación en contextos educativos. La codificación axial conectó estos elementos con las competencias modelizadoras desarrolladas, y la codificación selectiva permitió interpretar cómo estos diseños reflejan el nivel de apropiación de dichas competencias.

El proceso de codificación permite organizar e interpretar los datos de manera sistemática y conectar los hallazgos con los marcos teóricos de referencia. Este enfoque asegura que las interpretaciones sean consistentes con los objetivos de la investigación, proporcionando una base sólida para el análisis y la discusión posterior de los resultados.

#### ***4.10.1. Análisis de datos de la SEA modelizadora***

##### **Interpretación de datos de la fase 1 del ciclo de modelización**

Para analizar los datos obtenidos durante la fase modelizadora 1, correspondiente a la identificación de la necesidad de un modelo por parte de los docentes en formación inicial (DFI), se aplicó una estrategia de análisis cualitativo, en la que se interpretaron los resultados de la actividad 1, 2 y 3, a través del análisis de la disposición inicial de los estudiantes para construir

modelos y sus conocimientos previos sobre el impacto ambiental. El objetivo didáctico para estas actividades es *generar una reflexión e introducción en torno a la idea de impacto ambiental*.

El primer paso para la interpretación de resultados es la codificación a cada uno de los docentes en formación, la cual corresponde a (DFI1, DFI2, DFI3... DFI53), **D1\_Uni2**: Transcripción Universidad 2 y **D2\_Uni1**: Transcripción Universidad 1. Se realizó la segmentación y codificación abierta, en la que se asignaron códigos a los textos resultados de la transcripción de la participación (ver tabla 20).

### Tabla 21

*Ejemplo de segmentación y codificación actividades 2 y 3.*

CÓDIGOS ASIGNADOS:	FRAGMENTO SELECCIONADO
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impacto ambiental</li> <li>▪ Transformaciones ecosistémicas</li> <li>▪ Valores y respeto por la naturaleza</li> <li>▪ Equilibrio energético - ambiental</li> <li>▪ Energías verdes (cuestionamiento)</li> <li>▪ Conciencia ambiental</li> <li>▪ Rol de la educación (resignificación)</li> <li>▪ Fuentes de energía diversas</li> </ul>	<p><b>(D1_Uni2)</b></p> <p>DFI23: "...ha generado un impacto en las transformaciones que ha realizado y el impacto no solo desde las afectaciones a los ecosistemas... la falta de valores que hemos ido perdiendo frente al respeto con la madre tierra."</p> <p>DFI24: "...hablamos de buscar menos impacto al final negativo, pero buscar ese equilibrio..."</p> <p>DFI25: "... ¿qué tan verdes serían esas energías realmente? ... ¿hay un equilibrio entre estas energías ecológicas y el medio ambiente? ... ¿Qué tan verdaderamente verdes son como tal?"</p> <p>DFI26: "Mientras sigamos considerando la naturaleza y el medio ambiente para satisfacer necesidades humanas, nada de eso va a servir. Hay que trabajar sobre la conciencia, sobre resignificar la educación ambiental."</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fuentes de energía diversas</li> <li>▪ Carácter sistémico de la energía</li> <li>▪ Innovación energética</li> <li>▪ Adopción social de energías renovables</li> <li>▪ Equilibrio ecosistémico</li> <li>▪ Desconocimiento de alternativas</li> <li>▪ Impactos negativos de energías renovables</li> </ul>	<p><b>(D2_Uni1)</b></p> <p><b>DFI1</b>: "...con las imágenes observábamos diferentes energías... la última idea que vi en el cómic hablaba de la energía humana... como un carácter sistémico..."</p> <p><b>DFI2</b>: "...hace 30 años atrás no se hablaba mucho de energía eólica... es una innovación que busca que se genere un menor impacto. Pero ¿cómo la sociedad adopta estas energías?"</p> <p><b>DFI3</b>: "...todas estas transformaciones de energía deberían mantener el equilibrio ecosistémico... ya hemos roto muchos ciclos... y hay alternativas que ni siquiera conocemos todavía."</p> <p>DFI4: "... ¿qué podríamos decir de algo negativo de la energía eólica? ...el ruido, el espacio..."</p>

Luego de la codificación abierta, se identificaron categorías que integran códigos afines, que permitieron organizar y condensar la información:

**Tabla 22**

*Categorías que integran códigos afines del as actividades 1, 2 y 3*

CATEGORÍA	CONJUNTO DE CÓDIGOS
Concepción y tipos de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fuentes de energía diversas</li> <li>▪ Carácter sistémico de la energía</li> <li>▪ Energías verdes (cuestionamiento)</li> <li>▪ Innovación energética</li> <li>▪ Desconocimiento de alternativas</li> <li>▪ Impacto ambiental</li> </ul>
Impacto ambiental y ecosistémico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transformaciones ecosistémicas</li> <li>▪ Equilibrio energético-ambiental</li> <li>▪ Impactos negativos de energías renovables</li> <li>▪ Valores y respeto por la naturaleza</li> </ul>
Relación ser humano - naturaleza	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conciencia ambiental</li> <li>▪ Rol de la educación (resignificación)</li> <li>▪ Adopción social de energías renovables</li> <li>▪ Cuestionamiento a las “energías verdes”</li> </ul>
Tensión entre desarrollo y sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidades humanas vs. preservación ambiental</li> <li>▪ Rol de la política y la economía (es importante mencionar que, aunque en el texto aparece de manera tangencial, se menciona la influencia de empresarios y del gobierno)</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

Posteriormente, para profundizar en la interpretación de datos, se realizaron análisis preliminares, a partir de la lectura de los segmentos codificados y las relaciones que emergen (ver figura 15). En el apéndice I, se observa la nube de palabras y métricas de la aplicación mentimeter.

### **Figura 15**

*Matriz analítica de la interpretación de los datos de las actividades 1, 2 y 3*



*Fuente.* Elaboración propia.

**La energía cómo fenómeno transversal:** Los DFI hacen énfasis en que la energía es un concepto transversal a todas las ciencias naturales. No se limita a un discurso científico “técnico”, sino que aparece en la vida cotidiana: la “energía humana”, la energía eólica, la solar, etc. Esto sugiere la relevancia de enseñar el concepto de energía desde múltiples perspectivas y no solo físico-químicas. Para el rol docente, es clave contextualizar la enseñanza de la energía, vinculándola tanto a la vida diaria como a los retos ambientales.

**Tensión entre desarrollo y sostenibilidad:** Surge un cuestionamiento sobre qué tan “verdes” son realmente las energías renovables. Se habla de aerogeneradores y su contaminación auditiva, o de paneles solares y la dificultad de reciclar baterías. Esta tensión refleja la complejidad de la transición energética. El discurso de “energía limpia” no siempre considera la totalidad de los impactos socioambientales. En la formación docente, se requiere fomentar un pensamiento crítico sobre estos temas.

**Cambios de mentalidad y el rol de la educación ambiental:** Varios participantes subrayan que la “conciencia ambiental” debe ser el punto de partida: si el ser humano sigue considerándose superior a la naturaleza, la adopción de nuevas tecnologías o energías será solo un “pañito de agua tibia”. Esto apunta a la urgencia de reforzar la educación ambiental y reconfigurar la relación ser humano-naturaleza desde las aulas. El docente en formación debe asumir un rol de mediador que promueva la reflexión, la ética y la corresponsabilidad.

**Iniciativas y barreras estructurales:** Se menciona que la implementación de soluciones energéticas está mediada por factores político Y económicos. Las grandes empresas energéticas o intereses gubernamentales pueden dificultar la expansión de energías renovables en ciertas regiones. El cambio de paradigma energético no solo depende de la voluntad de las comunidades y la educación ambiental, sino también de las regulaciones, los incentivos y las políticas. El docente debe conocer estas dinámicas para tener un panorama más realista, actual y crítico.

En conjunto, esta matriz evidencia cómo, desde la primera fase del ciclo de modelización, los participantes comienzan a reconocer la complejidad del fenómeno energético, no solo en términos técnicos, sino también sociales, éticos y políticos. Este reconocimiento inicial constituye un indicio significativo en el que los docentes en formación están en proceso de construir la necesidad de un modelo explicativo que les permita integrar dichas dimensiones de manera coherente y crítica.

### **Interpretación de datos de la fase 2 del ciclo de modelización**

El objetivo didáctico en esta fase está orientado a permitir que los estudiantes formulen modelos iniciales a partir de su comprensión previa. La actividad 4 consistió en la lectura descrita en el apartado anterior. Posteriormente, En el marco de la SEA, se aborda la actividad 5, para analizar niveles emergentes de prácticas en la construcción de modelos (ver tabla 22) Tomado de (Constantinou et al., 2019)

#### **Tabla 23**

*Rúbrica para analizar los niveles emergentes de práctica en la construcción de modelos a partir de las competencias modelizadoras*

<b>NIVELES DE PRÁCTICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL NIVEL</b>
<b>NIVEL 1</b>	El modelo proporciona una representación superficial del fenómeno (por ejemplo, faltan la mayoría de los componentes del fenómeno) y carece de potencial interpretativo y predictivo.
<b>NIVEL 2</b>	El modelo proporciona una representación moderada del fenómeno (por ejemplo, sólo se representan unos pocos ejemplos de los componentes del fenómeno) y carece de potencial interpretativo y poder predictivo.
<b>NIVEL 3</b>	El modelo (i) proporciona una representación moderada del fenómeno (por ejemplo, sólo se representan unos pocos ejemplos de los componentes del fenómeno), (ii) abarca una interpretación mecanicista de cómo funciona el fenómeno, y (iii) carece de poder predictivo.
<b>NIVEL 4</b>	El modelo (i) proporciona una representación moderada del fenómeno (por ejemplo, sólo se representan unos pocos ejemplos de los componentes del fenómeno), (ii) abarca tanto una interpretación mecanicista de cómo funciona el fenómeno como una interpretación causal que explica por qué El fenómeno funciona como lo hace, (ii) carece de poder predictivo.

<b>NIVEL 5</b>	El modelo (i) proporciona una representación integral del fenómeno (por ejemplo, están representados todos los tipos de componentes del fenómeno); (ii) abarca tanto una interpretación mecanicista de cómo funciona el fenómeno como una interpretación causal que explica por qué el fenómeno funciona de la manera en que lo hace; (iii) tiene un poder predictivo limitado.
<b>NIVEL 6</b>	El modelo (i) proporciona una representación integral del fenómeno (por ejemplo, todos los tipos de componentes del fenómeno están representados), (ii) abarca tanto una interpretación mecanicista de cómo funciona el fenómeno como una interpretación causal que explica por qué funciona el fenómeno. la forma en que lo hace; (iii) tiene un fuerte poder Predictivo.

*Nota.* Esta rúbrica se adapta del modelo propuesto por Constantinou et al. (2019), quienes estructuran los niveles emergentes de práctica modelizadora en seis niveles progresivos. Esta progresión permite valorar de manera gradual el grado de sofisticación de los modelos construidos por los participantes, considerando aspectos como la representación del fenómeno, la interpretación mecanicista y causal, y el poder predictivo del modelo.

Con el fin de analizar los niveles emergentes de competencia modelizadora expresados por los docentes en formación inicial (DFI) en sus respuestas escritas sobre el fracking, se diseñó una rúbrica basada en la propuesta de Constantinou et al. (2019) y adaptada a las necesidades del presente estudio. Esta rúbrica contempla seis niveles de progresión por cada criterio de evaluación: representación del fenómeno, interpretación mecanicista, interpretación causal y poder predictivo. Para fortalecer su validez y aplicabilidad en el análisis, se incorporaron criterios cuantificables y descriptores específicos, construidos a partir de los datos empíricos recolectados. De este modo, la tabla permite identificar con mayor precisión el grado de sofisticación de los modelos construidos por los DFI, considerando tanto la cantidad de elementos incluidos como la profundidad explicativa y la coherencia conceptual de sus respuestas.

### **Tabla 24**

*Rúbrica para analizar niveles emergentes de prácticas en la construcción de modelos*

<b>Criterio de Evaluación</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Nivel 5</b>	<b>Nivel 6</b>
<b>Representación del</b>	Menciona 0–1 componentes	Menciona 2–3	Menciona 3–4	Incluye 4–5 componentes	Incluye al menos 6	Incluye todos los

<b>fenómeno del fracking</b>	del proceso. Representación superficial sin relaciones entre elementos.	componentes clave del fracking (ej. perforación, uso de agua, extracción), sin explicar relaciones.	componentes y sugiere relaciones generales, pero sin profundización.	con cierta coherencia y descripción de su funcionamiento.	componentes interrelacionados, describe su secuencia y rol en el proceso.	componentes esenciales (mínimo 7), con relaciones claras, secuencia técnica y coherencia sistémica.
<b>Interpretación mecanicista</b> <i>¿Cómo funciona?</i>	No explica el funcionamiento o del fracking.	Menciona de forma aislada uno o dos pasos (ej. perforación o inyección de agua), sin conexión técnica.	Describe parcialmente el funcionamiento (ej. presión, fractura, recuperación), pero sin detalle.	Explica 3–4 interacciones técnicas del proceso, con ejemplos del funcionamiento o de componentes.	Detalla al menos 5 procesos mecánicos (presión, fractura, inyección, mezcla, recuperación) con cierta precisión.	Explica el proceso completo: presión hidráulica, composición de fluidos, interacción con la roca, liberación de hidrocarburos, recuperación del fluido.
<b>Interpretación causal</b> <i>¿por qué se realiza?, ¿qué efectos produce?</i>	No menciona causas ni efectos.	Menciona al menos una causa o un efecto de manera general (ej. "contaminación").	Describe 2–3 efectos o motivaciones sin establecer relaciones causales claras.	Establece relaciones causales simples entre procesos y consecuencias (ej. "uso de químicos → contaminación").	Analiza causas y consecuencias intermedias, considerando variables ecológicas o económicas.	Explicación completa: causas, efectos múltiples (sociales, ecológicos, económicos), y condiciones que los modulan.
<b>Poder predictivo</b> <i>¿qué consecuencias futuras se anticipan?</i>	No anticipa consecuencias.	Solo menciona efectos actuales sin proyectarlos en el tiempo.	Identifica 1–2 posibles consecuencias futuras, sin detalles.	Propone 2–3 consecuencias futuras (ej. agotamiento del agua, migración de especies), con razonamiento básico.	Anticipa consecuencias múltiples, con fundamentos empíricos o comparativos.	Anticipa impactos sistémicos a largo plazo (ambientales, sociales, económicos), con relaciones entre variables.

*Fuente:* Adaptación de Constantinou et al. (2019) y elaboración propia a partir de los datos del estudio.

*Nota.* Se consideran componentes clave del fracking los siguientes: (1) perforación vertical, (2) perforación horizontal, (3) inyección de agua a presión, (4) mezcla de químicos, (5) fractura de la roca, (6) liberación de gas o petróleo, (7) recuperación de fluidos, (8) manejo de residuos.

A partir de la pregunta inicial sobre qué sabían los (DFI) acerca de la técnica de explotación hidráulica conocida como *fracking*, se analizaron sus respuestas (en esta oportunidad

contamos con 46 en total) con base en la rúbrica anterior (ver tabla 23) que examina las cuatro dimensiones:

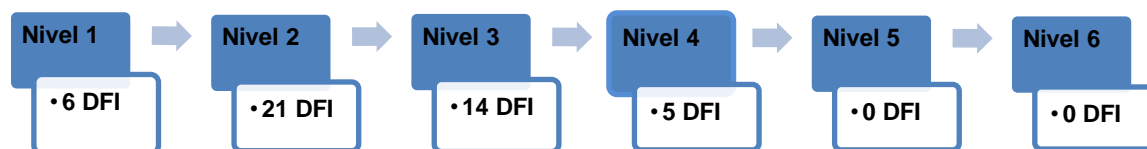
A continuación, se sintetizan los principales hallazgos y se ofrece una lectura interpretativa de lo que reflejan estos datos en cuanto a las competencias modelizadoras de los DFI.

### **Representación del fenómeno del *fracking***

En la (figura 16) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la rúbrica (ver tabla 23)

### **Figura 16**

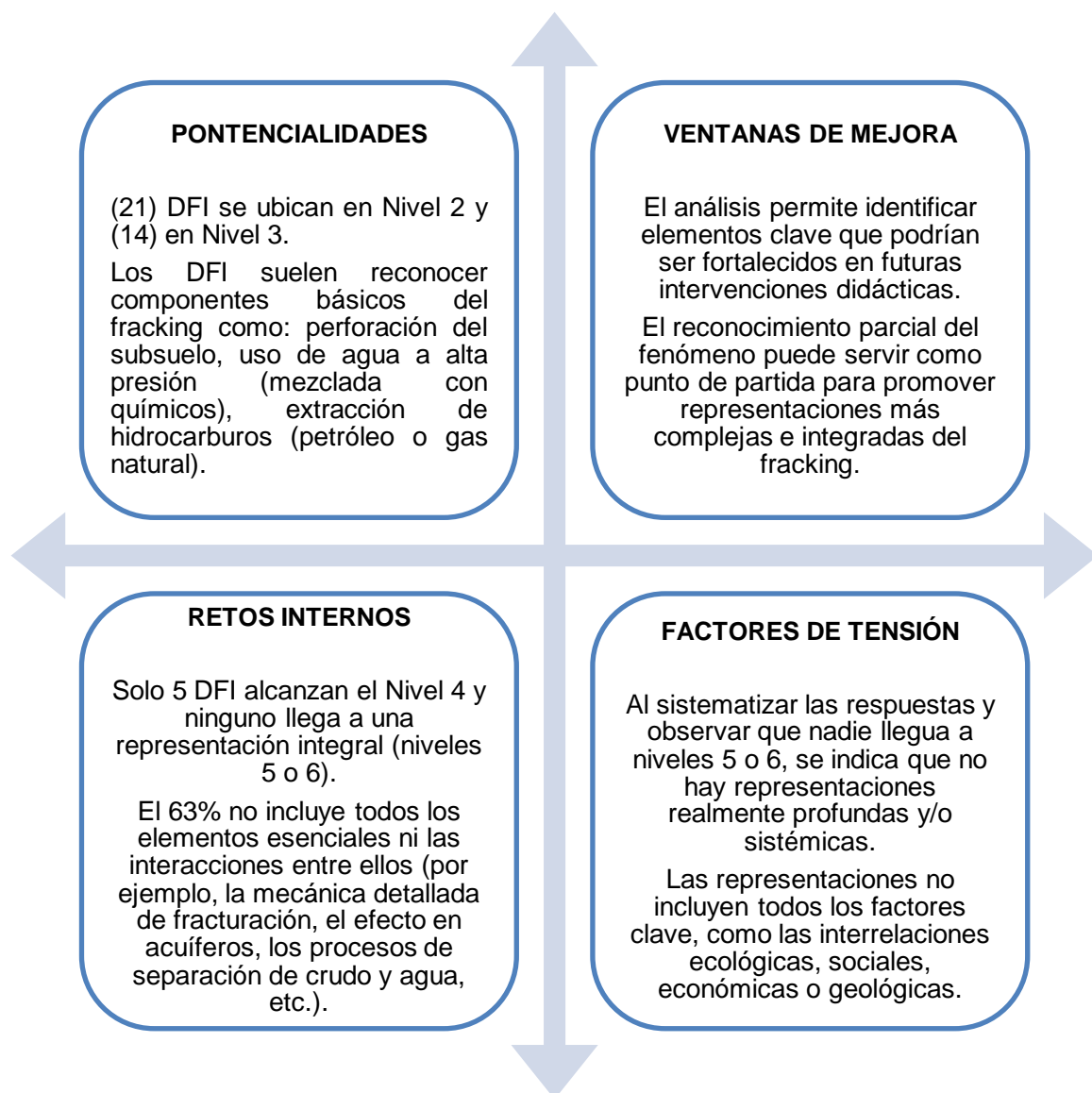
*Distribución de niveles de los DFI de la representación del fenómeno del fracking*



Para el análisis de datos se organizó la información en una matriz, (ver figura 17)

Figura 17

Matriz de la representación del fenómeno del fracking.



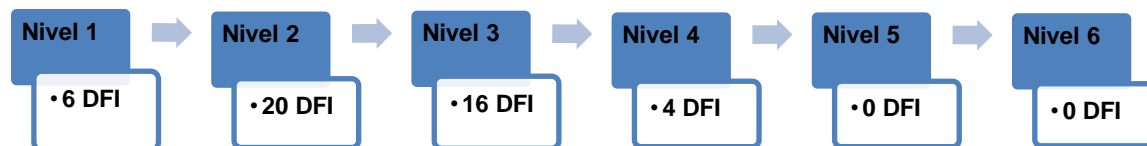
Fuente. Elaboración propia

### Interpretación mecanicista (¿Cómo funciona?)

En la (figura 18) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la rúbrica (ver tabla 23)

**Figura 18**

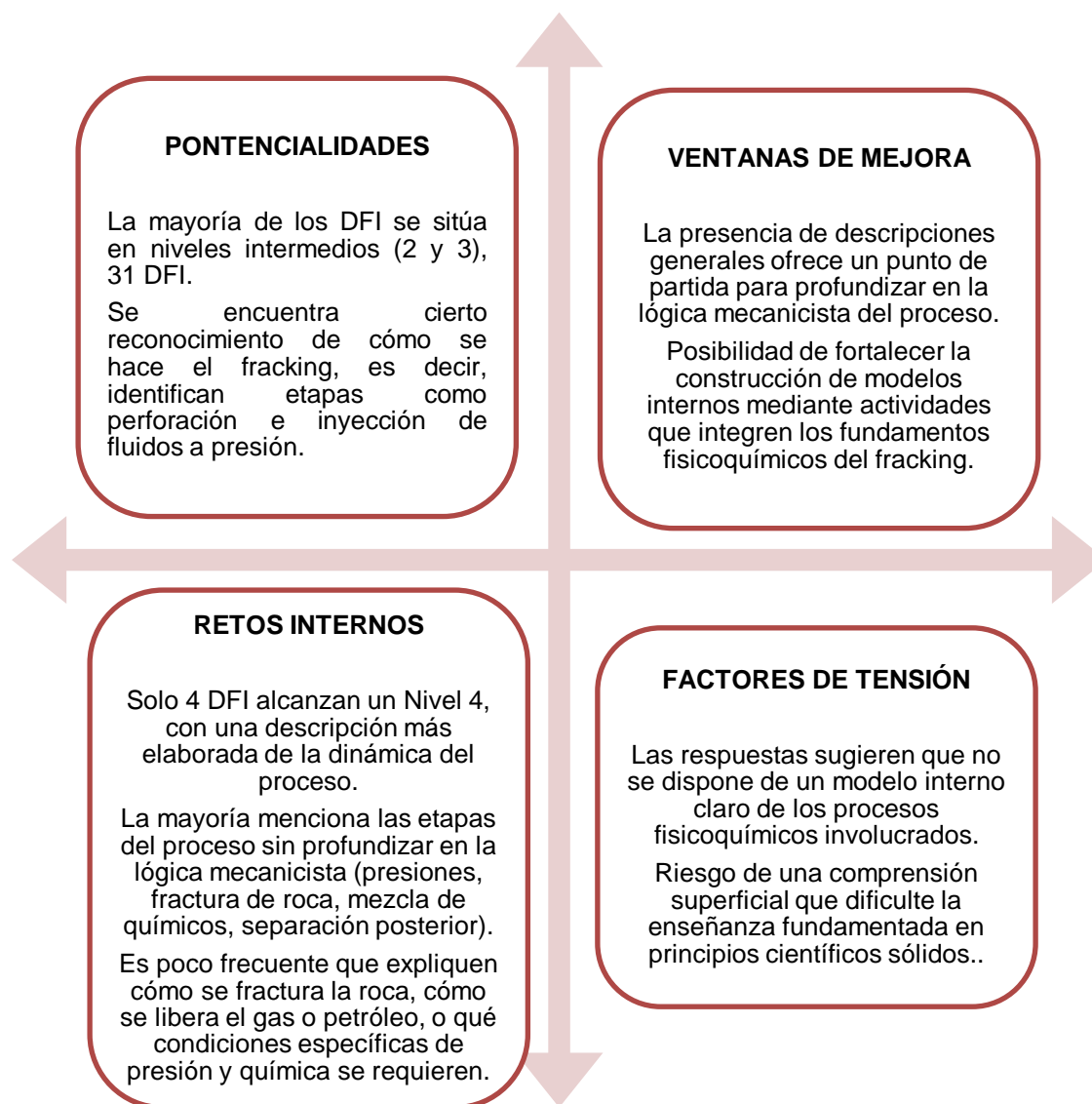
*Distribución de niveles de los DFI de la interpretación mecanicista*



Para el análisis de datos se organizó la información en una matriz, (ver figura 19)

**Figura 19**

*Matriz de la interpretación mecanicista (¿Cómo funciona?)*



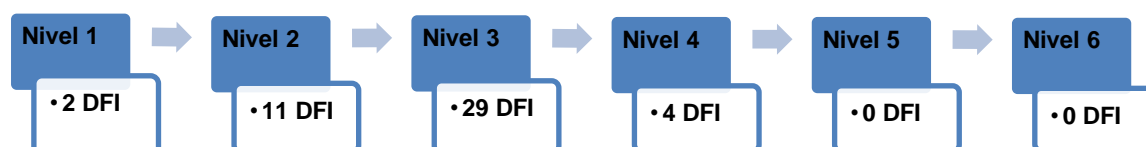
Fuente. Elaboración propia

### Interpretación causal (¿Por qué se hace?, ¿qué efectos produce?)

En la (figura 21) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la rúbrica (ver tabla 23)

#### Figura 20

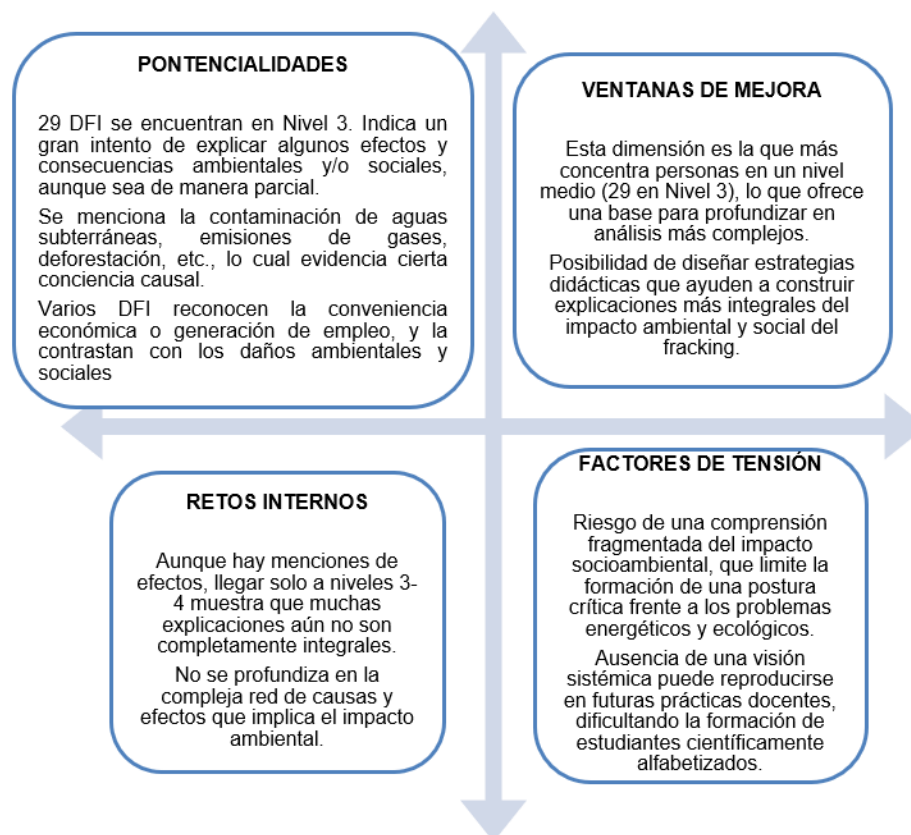
Distribución de niveles de los DFI de la interpretación causal.



Para el análisis de datos se organizó la información en una matriz, (ver figura 21)

#### Figura 21

Matriz interpretación causal (¿Por qué se hace?, ¿qué efectos produce?)



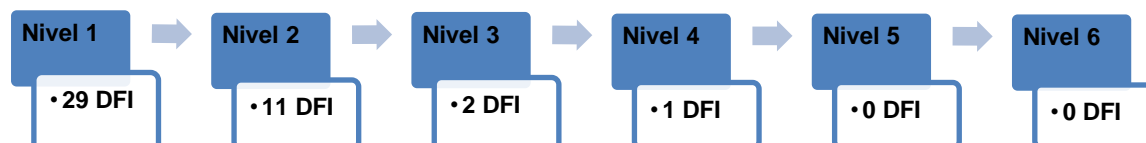
Fuente. Elaboración propia.

## Poder predictivo (¿qué consecuencias a futuro se prevén?)

En la (figura 22) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la rúbrica (ver tabla 23)

### Figura 22

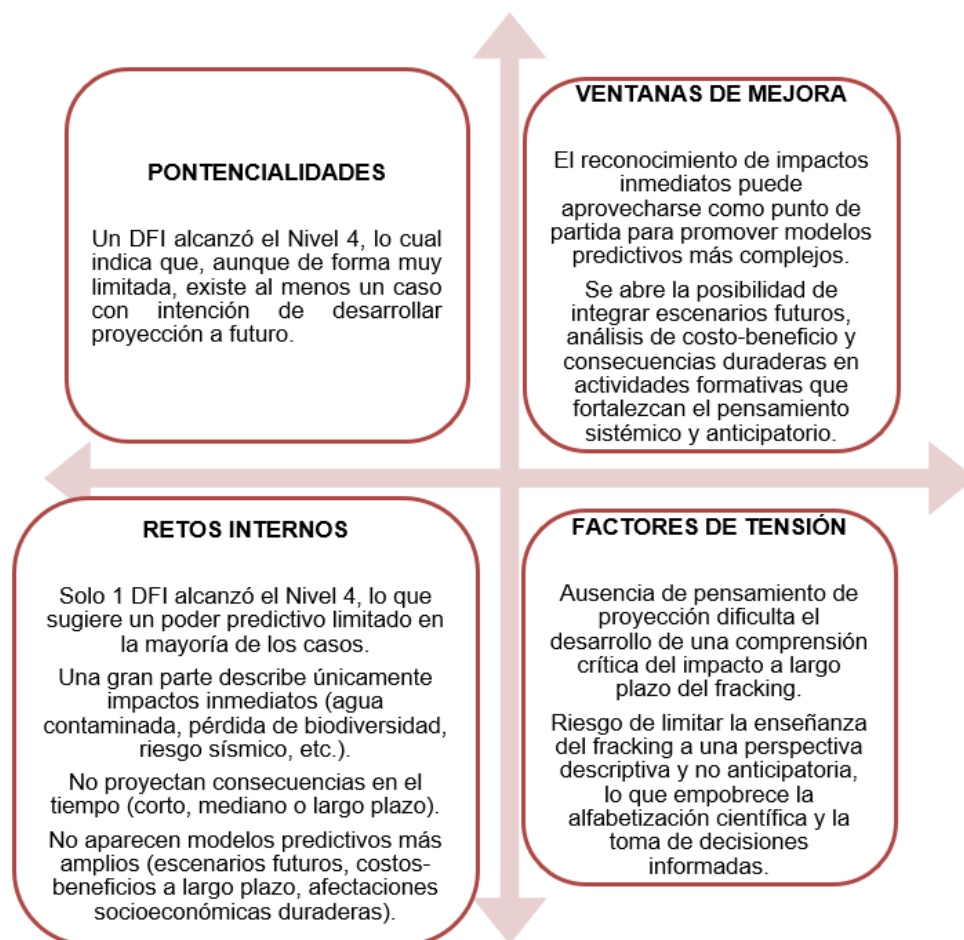
*Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo.*



Para el análisis de datos se organizó la información en una matriz, (ver figura 23)

### Figura 23

*Matriz poder predictivo (¿qué consecuencias a futuro se prevén?)*

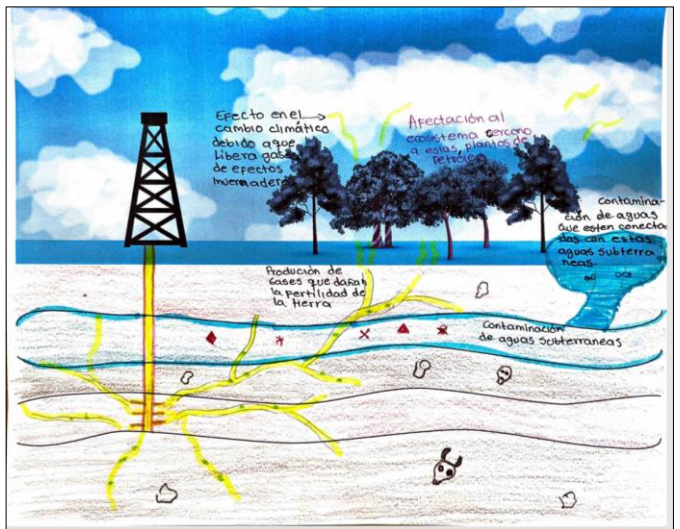
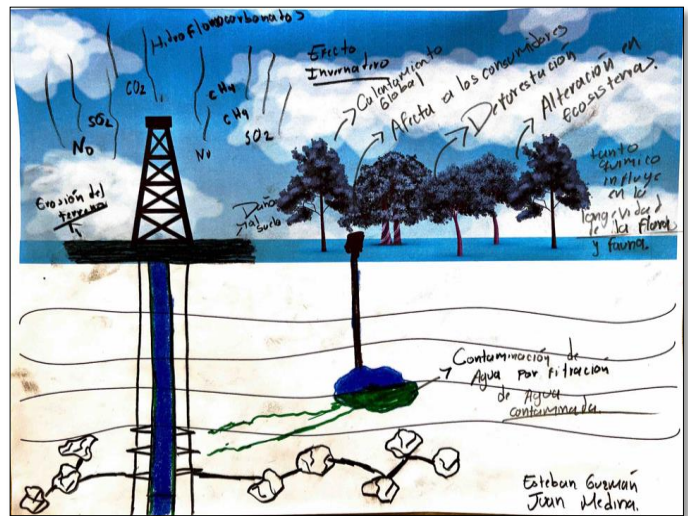
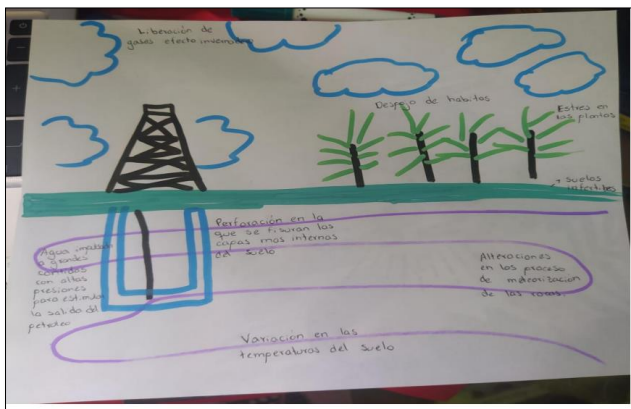
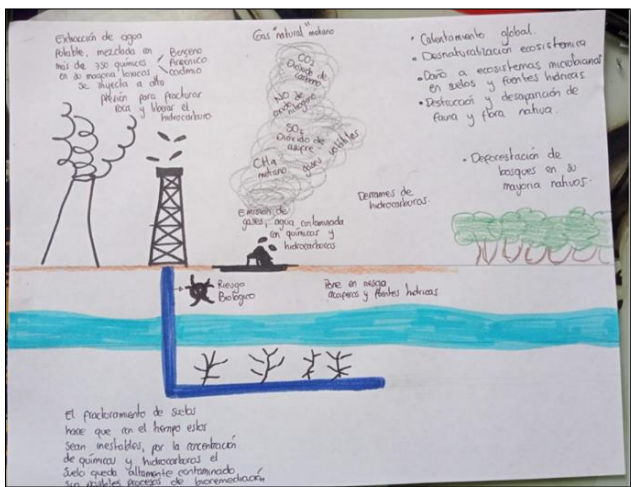
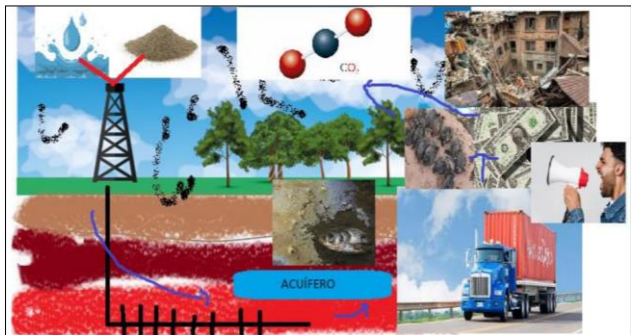


*Fuente.* Elaboración propia.

A continuación, Se comparten algunos modelos diseñados por los DFI de las dos universidades (ver figura 24) realizados en la actividad 7.

**Figura 24**

Muestra de modelos gráficos de procesos asociados al Fracking, elaborados por DFI



Para evaluar los modelos gráficos construidos por los docentes en formación inicial (DFI) sobre el proceso de fracturación hidráulica (fracking), se elaboró una rúbrica analítica basada en los criterios propuestos por Constantinou et al. (2019) y ajustada al contexto de la presente investigación. La rúbrica contempla cuatro dimensiones fundamentales: representación del fenómeno, interpretación mecanicista, interpretación causal y poder predictivo. Cada dimensión se organiza en seis niveles de progresión, definidos a partir de descriptores graduales que integran tanto aspectos cualitativos como cuantificables. Esta estructura permitió valorar con mayor objetividad el nivel de complejidad alcanzado por los participantes en sus modelos gráficos, teniendo en cuenta la cantidad de componentes incluidos, la claridad en las relaciones entre elementos, la profundidad explicativa y la capacidad para anticipar consecuencias futuras. La tabla que se presenta a continuación sintetiza los criterios utilizados para clasificar los modelos producidos en esta fase de la SEA modelizadora. (ver tabla 24).

**Tabla 25**

*Rúbrica para analizar niveles emergentes de prácticas en la construcción de modelos gráficos*

<b>Criterio de Evaluación</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Nivel 5</b>	<b>Nivel 6</b>
<b>Representación del fenómeno del fracking</b>	Menciona 0–1 componentes del proceso. Representación incompleta y sin conexiones	Incluye 2–3 componentes básicos (p. ej., perforación, uso de agua, extracción), sin relaciones explícitas.	Representa 3–4 componentes, con sugerencia de secuencia o función, pero limitada en detalle.	Representa al menos 5 componentes, con una descripción general del proceso y cierta conexión entre ellos.	Representa 6–7 componentes del proceso (incluyendo relaciones entre perforación, fractura, recuperación), con detalle técnico moderado.	Representa 8 o más componentes esenciales, interrelacionados de manera coherente y técnica, incluyendo procesos, insumos y resultados.
<b>Interpretación mecanicista</b>	No describe el funcionamiento del proceso.	Describe de forma muy básica 1–2 acciones del fracking sin vincularlas (p. ej., “se inyecta agua”).	Describe 2–3 pasos técnicos (p. ej., presión, fractura, liberación de hidrocarburos) sin profundidad.	Describe al menos 4 pasos del proceso con cierta lógica mecanicista (p. ej., presión → fractura → liberación).	Explica al menos 5 interacciones mecánicas con claridad, incluyendo detalles técnicos como la mezcla de químicos,	Describe detalladamente todo el proceso técnico: perforación vertical y horizontal, presión hidráulica, composición del fluido, fractura,

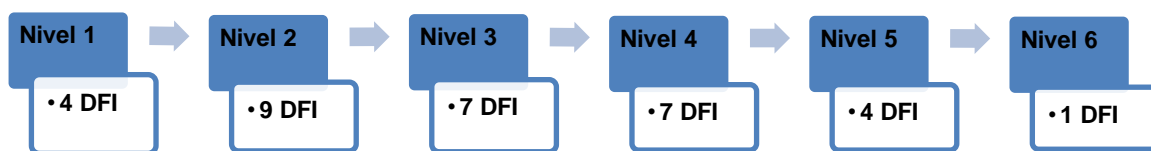
<b>Interpretación causal</b>	No menciona causas ni efectos.	Menciona 1 causa o efecto de forma general (p. ej., "contamina").	Identifica 2-3 causas o efectos, pero sin desarrollar una relación clara entre ellos.	Relaciona causas y efectos en secuencia básica (p. ej., "uso de químicos → contaminación del agua"), con explicación limitada.	Describe múltiples causas y consecuencias ambientales, sociales o económicas, estableciendo conexiones parciales entre ellas.	condiciones de presión o dirección de perforación. extracción, recuperación y gestión de residuos. Explica de forma integrada causas y efectos (ambientales, económicos, sociales), con justificaciones contextualizadas (p. ej., "uso de agua en exceso → impacto en comunidades rurales con escasez").
	No anticipa ninguna consecuencia futura.	Menciona efectos inmediatos sin extenderse al mediano o largo plazo.	Anticipa 1-2 consecuencias futuras generales (p. ej., "agotamiento del agua"), sin análisis.	Anticipa 2-3 efectos futuros con justificación parcial, considerando variables ambientales o sociales.	Predice varios efectos a mediano y largo plazo, con base en tendencias conocidas o casos documentados.	Presenta un análisis predictivo detallado, integrando múltiples escenarios, variables interdependientes (ecosistema, economía, salud), y consecuencias futuras fundamentadas.
<b>Poder predictivo</b>						

### Representación del fenómeno del *fracking* en el modelo gráfico

En la (figura 25) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican al representar el fenómeno, teniendo en cuenta los seis niveles de progresión señalados en la rúbrica (ver tabla 24).

**Figura 25**

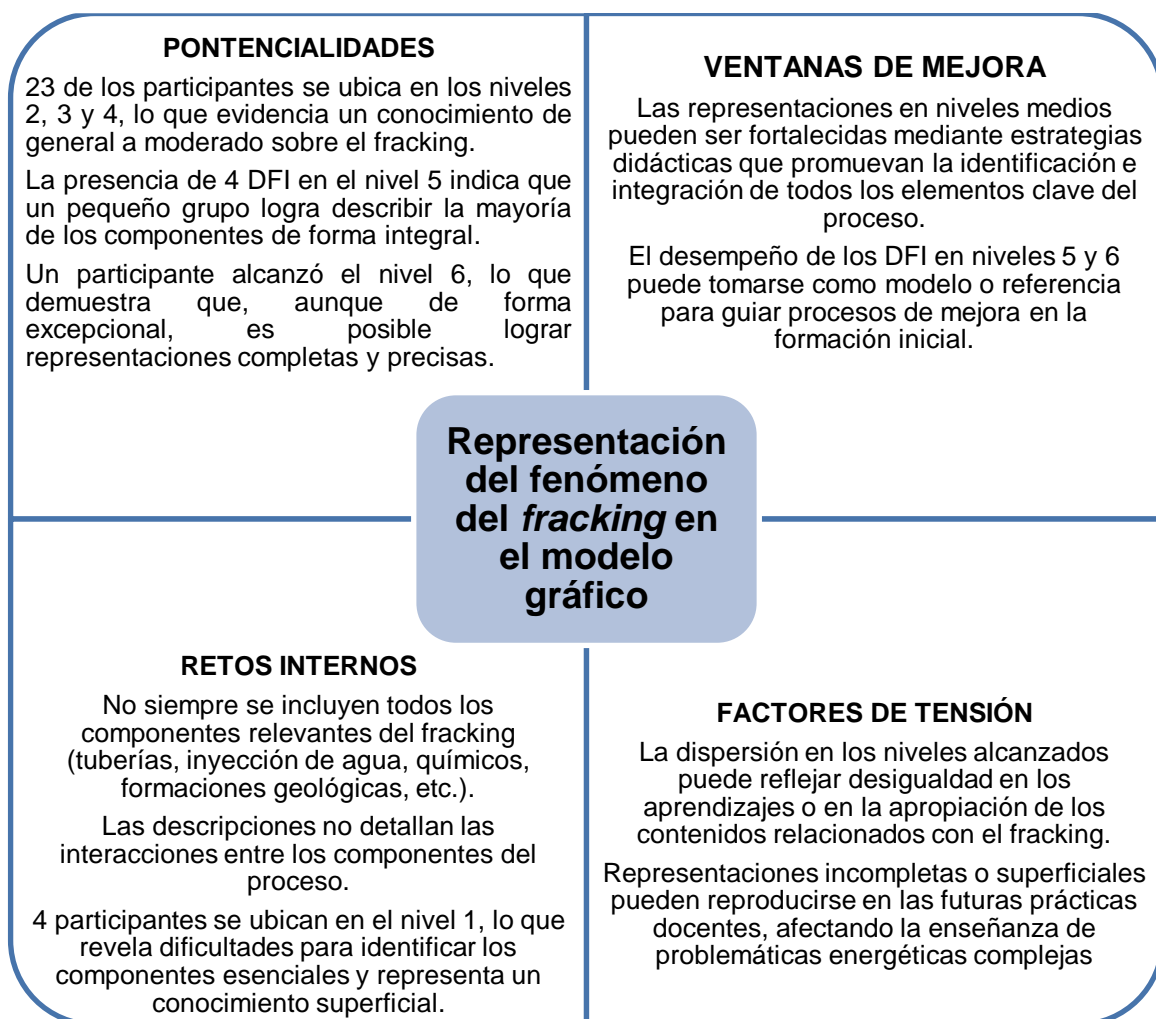
*Distribución de niveles de los DFI respecto a la representación de fenómeno del fracking.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 26

**Figura 26**

*Matriz de análisis de la representación del fenómeno del fracking en el modelo gráfico*



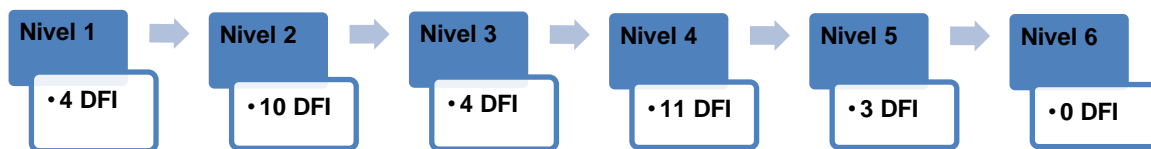
*Fuente.* Elaboración propia

### **Interpretación mecanicista**

En la (figura 27) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta los seis niveles de la rúbrica para la interpretación mecanicista (ver tabla 24).

**Figura 27**

*Distribución de niveles de los DFI respecto a la interpretación mecanicista.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 28

**Figura 28**

*Matriz de análisis de la Interpretación mecanicista*



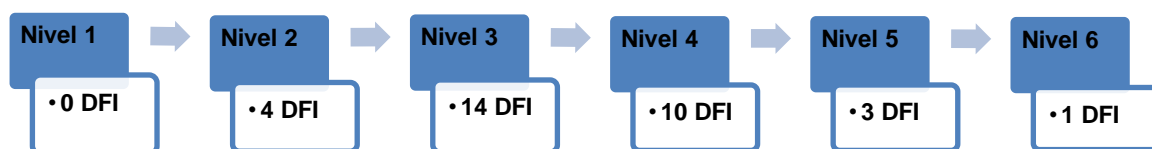
*Fuente.* Elaboración propia

### **Interpretación causal**

En la (figura 14) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para la interpretación causal (ver tabla 24).

**Figura 29**

*Distribución de niveles de los DFI respecto a la interpretación causal.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 30.

**Figura 30**

*Matriz de análisis de la Interpretación causal*



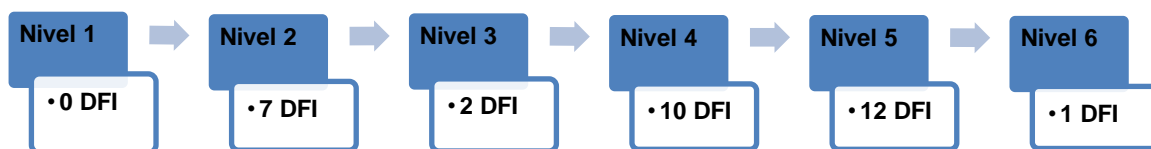
*Fuente.* Elaboración propia

**Poder predictivo**

En la (figura 31) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para el poder predictivo (ver tabla 24).

### Figura 31

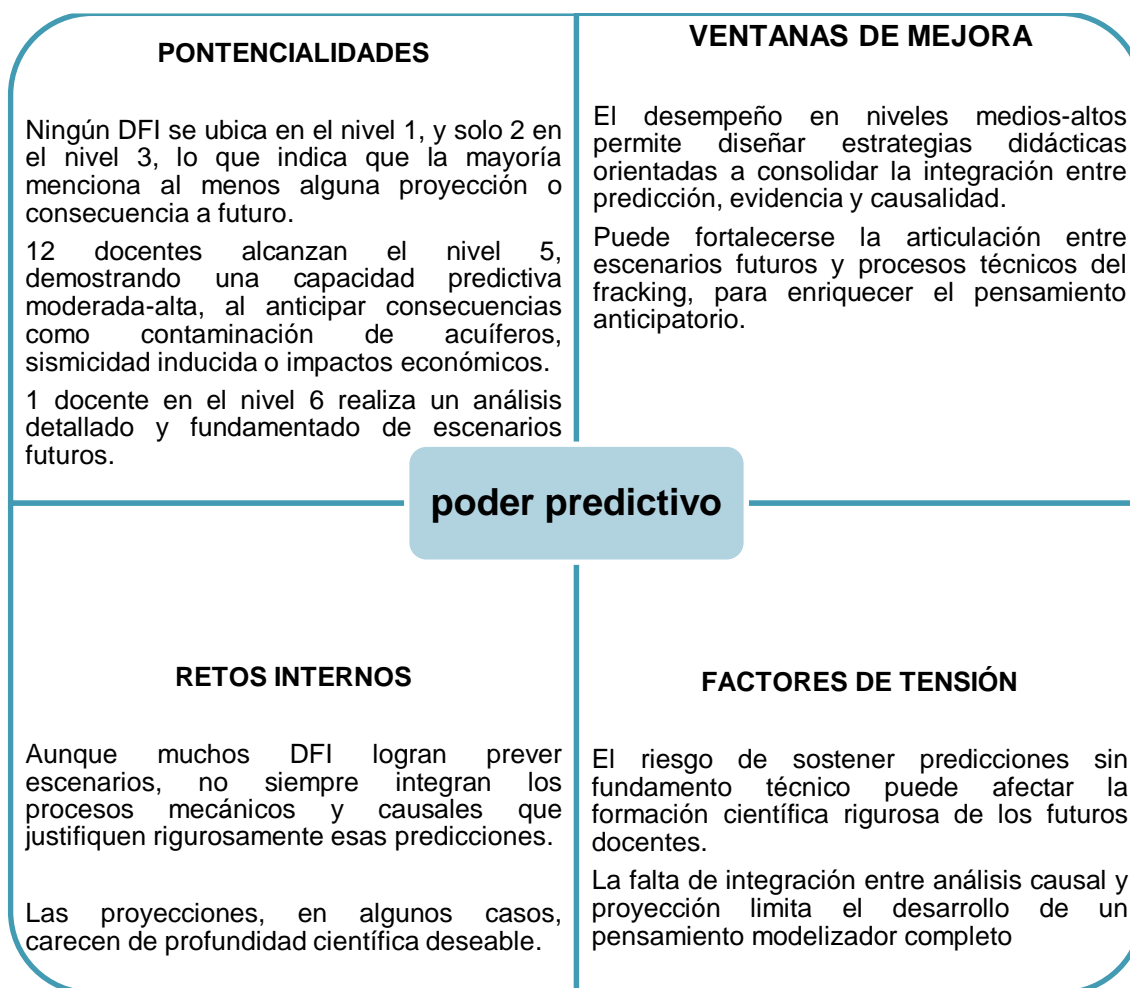
*Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 32

### Figura 32

*Matriz de análisis del poder predictivo.*



*Fuente.* Elaboración propia

La **actividad 8** tuvo como propósito consolidar el proceso de modelización iniciado en las actividades anteriores, invitando a los docentes en formación inicial (DFI) a identificar procesos técnicos, ventajas y desventajas, impactos ambientales y proyecciones futuras asociadas a la técnica del fracking. Esta actividad no solo complementó la elaboración del modelo gráfico, sino que brindó una oportunidad para evidenciar la comprensión funcional, causal y predictiva del fenómeno modelado en un contexto contextualizado y aplicado.

Para el análisis de esta actividad, se empleó una rúbrica de seis niveles progresivos por cada criterio evaluado, construida con base en el enfoque de competencias modeladoras propuesto por Constantinou et al. (2019), y ajustada a partir de los datos recolectados (Tabla 26). A diferencia de las rúbricas anteriores, en esta se incorporaron descriptores cuantificables y más operativos, con el fin de objetivar la evaluación y permitir una clasificación coherente del desempeño de los participantes.

**Tabla 26**

*Rúbrica para clasificar los procesos técnicos, identificación de ventajas y desventajas, impacto ambiental y potencial predictivo de los procesos asociados al fracking.*

<b>Criterio de Evaluación</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Nivel 5</b>	<b>Nivel 6</b>
<b>Descripción de los Procesos Técnicos</b>	No menciona procesos o lo hace de forma vaga.	Menciona 1–2 procesos generales (p. ej., perforación, uso de agua), sin orden ni explicación.	Describe 2–3 procesos técnicos con algo de secuencia (p. ej., perforación → inyección), pero sin detalles.	Describe 4 o más procesos con cierta lógica funcional y técnica (p. ej., mezcla de químicos, presión, liberación).	Describe al menos 5 procesos con detalle moderado y coherencia técnica.	Describe al menos 6–7 procesos del fracking, con precisión en la secuencia, condiciones, insumos y productos (p. ej., perforación vertical/horizontal, presión, recuperación de fluidos, residuos).
<b>Identificación de Ventajas y Desventajas</b>	No identifica ventajas ni desventajas.	Menciona 1–2 de forma superficial (ej. “es útil” o “contamina”).	Menciona 3–4 ventajas y/o desventajas con ejemplos generales.	Identifica al menos 4 aspectos y explica su relación con el contexto.	Integra 5 o más ventajas/desventajas con análisis moderado.	Integra al menos 6 ventajas/desventajas, justificadas y contextualizadas,

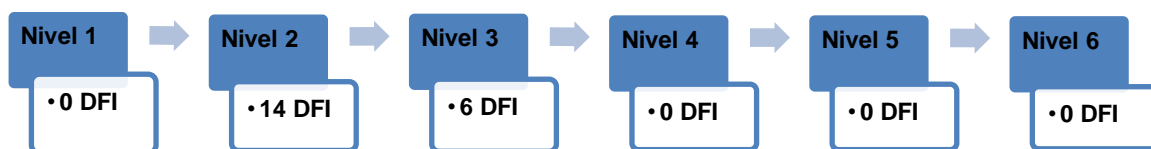
		sin explicación.		(p. ej., económico, riesgo de salud).	(económico, social, ecológico).	considerando escalas local y global.
<b>Impacto Ambiental</b>	No menciona impactos.	Menciona 1 impacto de forma vaga (ej. "contamina").	Menciona 2-3 impactos ambientales específicos, sin detallar el ecosistema.	Menciona 3-4 impactos y asocia al menos uno con un componente ambiental (agua, aire, suelo).	Describe al menos 4 impactos diferenciados y su variación según el ecosistema.	Describe 5 o más impactos con detalle técnico, considerando interacciones ecológicas, escalas temporales y tipos de ecosistemas afectados.
<b>Potencial Predictivo</b>	No anticipa consecuencias futuras.	Menciona efectos inmediatos sin proyectar en el tiempo.	Identifica 1-2 consecuencias futuras generales, sin fundamento.	Propone 2-3 escenarios futuros con relación a variables (p. ej., escasez de agua, migración).	Anticipa consecuencias múltiples a mediano plazo, con base en evidencia o casos conocidos.	Realiza un análisis predictivo detallado, con anticipación de escenarios futuros, variables interdependientes y ejemplos de otras regiones o estudios de caso.

### Descripción de los procesos técnicos

En la (figura 33) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para la descripción de los procesos técnicos asociados al *fracking* (ver tabla 26).

**Figura 33**

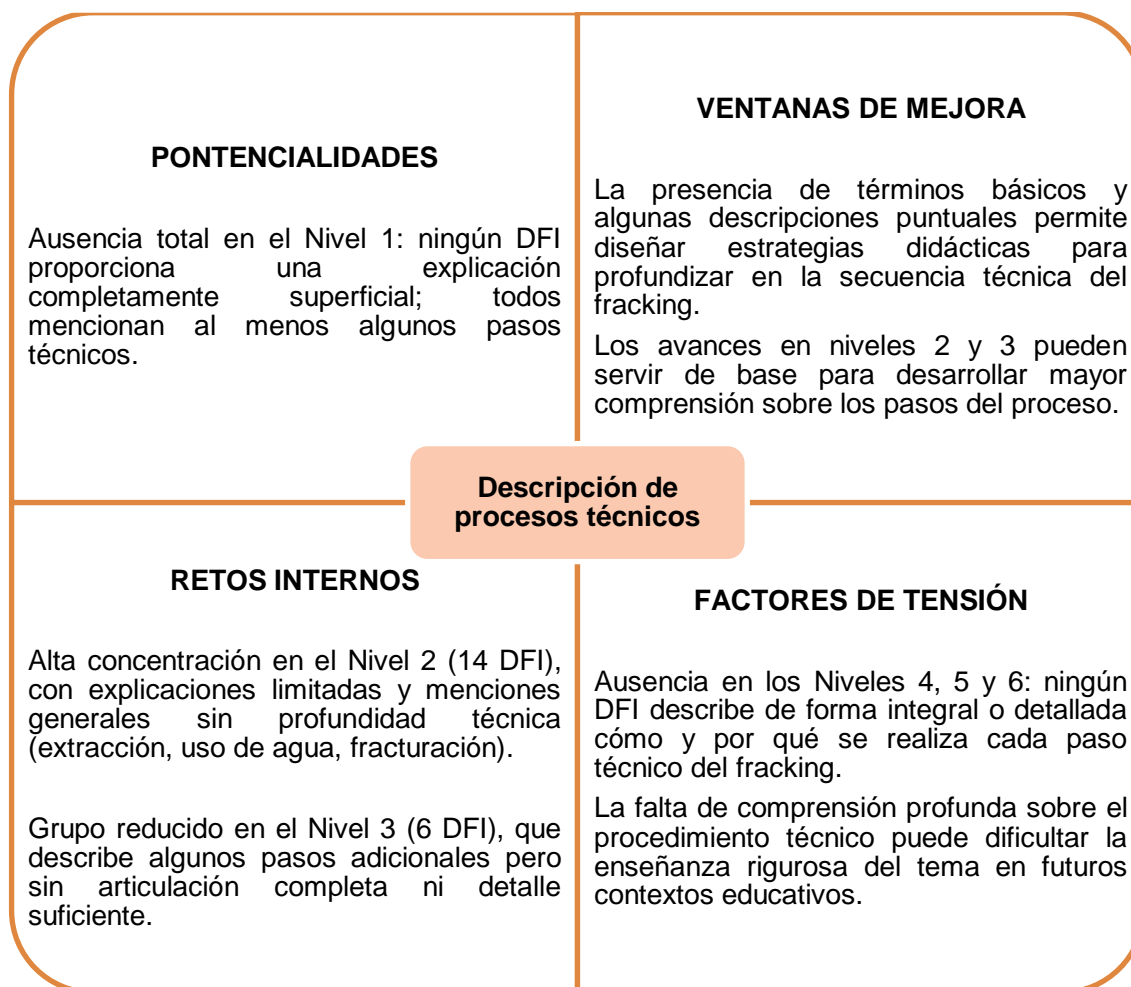
*Distribución de niveles de los DFI respecto a la descripción de los procesos técnicos asociados al fracking.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 34

**Figura 34**

*Matriz de análisis de la descripción de los procesos técnicos*



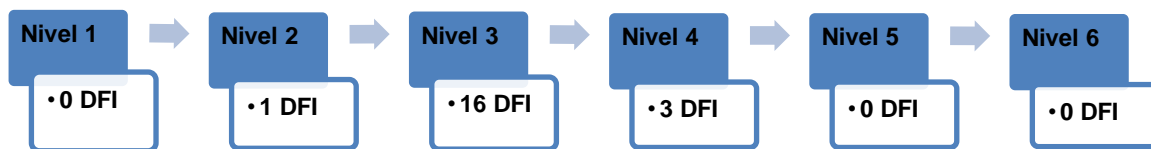
*Fuente.* Elaboración propia

### Identificación de Ventajas y Desventajas

En la (figura 35) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para la identificación de ventajas y desventajas asociados a la técnica denominada “*fracking*” (ver tabla 26).

#### **Figura 35**

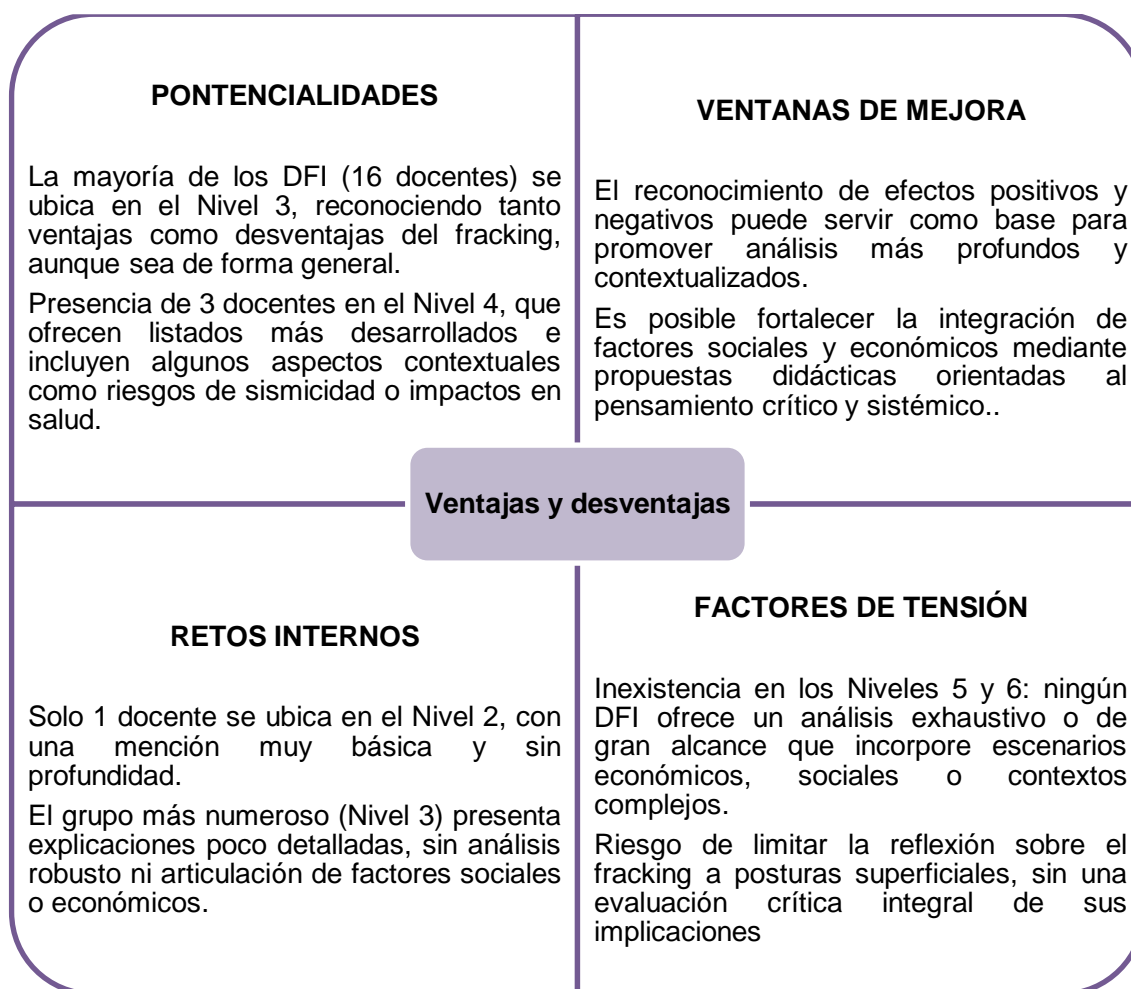
*Distribución de niveles de los DFI respecto a las ventajas y desventajas identificadas, en los procesos asociados al fracking.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 36

### Figura 36

Matriz de análisis de datos de las ventajas y desventajas identificadas por los DFI



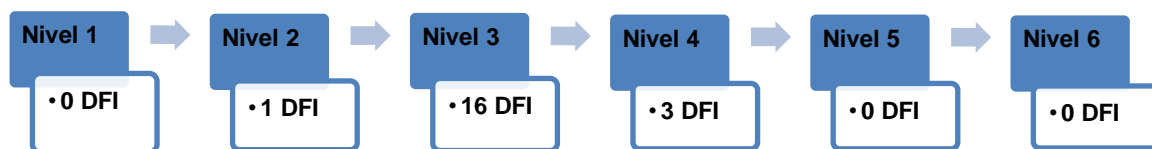
Fuente. Elaboración propia

### Impacto ambiental asociado

En la (figura 37) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para la asociación del impacto ambiental relacionado a la técnica denominada *fracking* (ver tabla 26).

**Figura 37**

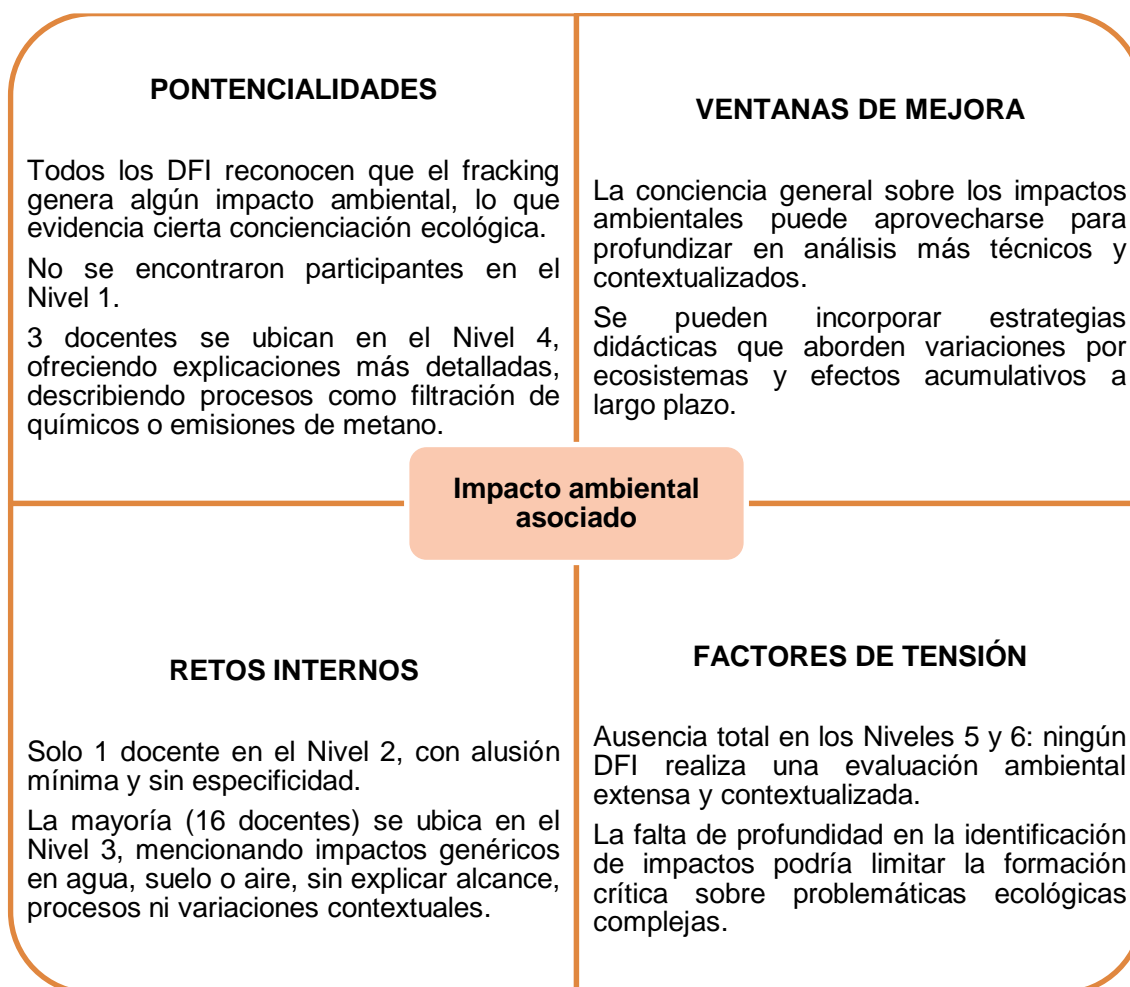
*Distribución de niveles de los DFI respecto al impacto ambiental identificado, en los procesos asociados al fracking.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 38

**Figura 38**

*Matriz de análisis del impacto ambiental asociado, identificado por los DFI*



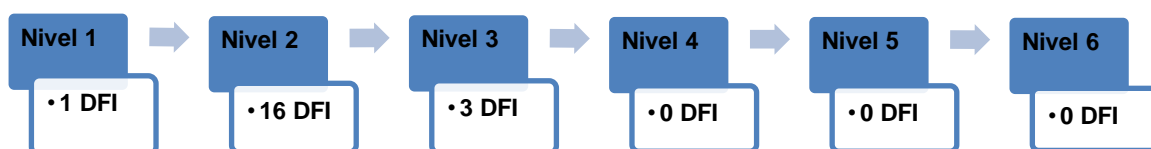
*Fuente.* Elaboración propia.

**Potencial predictivo**

En la (figura 39) se agrupan las respuestas de los DFI, según los niveles en que se ubican, teniendo en cuenta la descripción de estos en la rúbrica para el potencial predictivo de los modelos compartidos (ver tabla 26).

### Figura 39

*Distribución de niveles de los DFI respecto al poder predictivo, en los procesos asociados al fracking.*



Para la interpretación de la información, se elaboró la matriz relacionada en la figura 40

### Figura 40

*Matriz de análisis del potencial predictivo*



*Fuente.* Elaboración propia.

### Fase modelizadora 3: evaluar los modelos

Para analizar los datos derivados de la actividad 9, correspondiente a la fase de evaluación del modelo, se diseñó una estrategia cualitativa que combina la categorización de respuestas con criterios de progresión conceptual. En esta actividad, los docentes en formación inicial (DFI) seleccionaron las afirmaciones que, según su criterio, representaban mejor la relación entre el uso de la energía y su impacto ambiental. Estas afirmaciones fueron previamente organizadas por la investigadora en cuatro estadios de desarrollo conceptual (inicial, intermedio, avanzado y superior), siguiendo el mapa de progresión propuesto por López-Simó y Couso (2022) para las ideas clave 5, 6 y 7 del currículo operativo de la energía. La idea 7, específicamente, fue la base conceptual de toda la secuencia didáctica aplicada. (ver tabla 28).

**Tabla 27**

*Mapa de progresión de las ideas 5, 6 y 7 del currículo operativo de la energía.*

<b>ESTADIO SUPERIOR</b>	Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo.	A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios.	Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto.
<b>ESTADIO AVANZADO</b>	Cada tipo de tecnología (eólica, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables.	Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando eso obliga a cambiar nuestra sociedad	Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático
<b>ESTADIO INTERMEDIO</b>	La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol. El viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción.	La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares.	Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados.
<b>ESTADIO INICIAL</b>	Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación.		

Fuente. Elaboración propia

Las afirmaciones dispuestas en cada fila de la tabla 28 (una por estadio) corresponden a diferentes ideas clave del currículo operativo de la energía (ideas 5, 6 y 7), pero *todas comparten un nivel equivalente de complejidad conceptual*, es decir, se ubican dentro del mismo estadio de desarrollo (Inicial, Intermedio, Avanzado o Superior). Por lo tanto, aunque las afirmaciones remiten a ideas distintas, se consideran comparables en términos de su profundidad, articulación sistémica y nivel de abstracción. Esta disposición permite observar cómo los DFI se aproximan al pensamiento energético desde múltiples dimensiones, pero dentro de un mismo nivel de progresión cognitiva.

La estrategia de análisis se orientó a identificar los niveles de apropiación conceptual alcanzados por los DFI (ver figura 41), a partir del número y tipo de afirmaciones seleccionadas. Se realizó una codificación, clasificando cada elección de los participantes en uno de los cuatro estadios establecidos. Posteriormente, se realizó un análisis cualitativo de tendencia por estadio, a fin de interpretar qué tipo de comprensión conceptual se infiere a la preferencia por ciertos enunciados, y cómo esta refleja el desarrollo de competencias modelizadoras, particularmente en su dimensión evaluativa.

En el estadio superior se ubicaron 66 elecciones, que corresponde al mayor número de selecciones, por lo tanto, se evidencia que las afirmaciones más completas y complejas como la transición energética, la crisis climática global, las limitaciones tecnológicas y materiales, entre otras, obtuvieron un alto grado de aceptación.

Estas afirmaciones destacan la conexión sistémica entre el consumo energético y la necesidad de cambios sociales, económicos y tecnológicos para enfrentar la crisis climática. El hecho de que sea el estadio más seleccionado indica que buena parte de los DFI valoran la perspectiva global y crítica sobre la energía.

En la que reconocen, por ejemplo, la crisis climática originada por el consumo de energía actual, la inminente transición energética y sus implicaciones en la forma de vivir y producir y las limitaciones físicas y de materia prima que no pueden resolverse completamente.

En el estadio avanzado se ubican 42 elecciones, en los que se reconocen los diferentes tipos de tecnología como la renovable y fósil, así como su impacto en el cambio climático. Así mismo, la dependencia de la sociedad actual del petróleo y la necesidad de cambios a medida que los recursos se agotan.

En estos enunciados se menciona de forma clara el problema del cambio climático y el rol de los combustibles fósiles, pero quizás sin llegar a la profundidad sistémica del estadio superior, por ejemplo, sin abordar las limitaciones físicas y materiales o la reconfiguración total de los modelos de producción.

En el estadio intermedio, se ubicaron 10 DFI. Este estadio abarca textos que reconocen la procedencia de la energía de distintas centrales o fuentes, como la hidráulica, solar, entre otras, o la dependencia de casi todas las actividades humanas de la energía, pero sin asociar la problemática con el cambio climático y sin un enfoque histórico o de proyección marcado. Un ejemplo es la frase: “La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la energía”, la cual no se adentra en la discusión de la crisis, sino que describe la dependencia de manera puntual.

El estadio Inicial estuvo representado por 40 elecciones, en esta franja se hace referencia a ideas muy básicas, por ejemplo: “Muchos aparatos funcionan con baterías, gasolina... Su uso suele provocar contaminación”. Estos enunciados subrayan la inmediatez entre uso de energía y contaminación, sin desarrollar un trasfondo histórico, ni aludir a la crisis climática o la necesidad de un cambio sistémico.

#### **Figura 41**

*Distribución de elecciones por estadio de desarrollo conceptual*

<b>Distribución de elecciones por estadio de desarrollo conceptual</b>			
<b>Inicial 40</b>	<b>Intermedio 10</b>	<b>Avanzado 42</b>	<b>66 Superior</b>
Ideas básicas e inmediatas sobre energía y contaminación, sin perspectiva histórica o crítica	Reconocimiento general de fuentes de energía y dependencia energética, sin conexión con crisis climática.	Reconocimiento general de fuentes de energía y dependencia energética, sin conexión con crisis climática.	Comprensión sistémica y crítica: transición energética, crisis climática global, límites físicos y materiales.

*Fuente.* Elaboración propia.

#### **Fase modelizadora 4 y 5: Revisar y consensuar el modelo**

Para desarrollar estas fases modelizadoras (revisar y consensuar el modelo), se invitó a los docentes en formación a socializar al grupo de compañeros el modelo gráfico que habían diseñado previamente, con énfasis en las justificaciones técnicas y la discusión de los impactos ambientales. Se les aclaró que podían complementar su propuesta de manera verbal, incorporando elementos que no hubieran considerado en la elaboración inicial. Además, sus compañeros formularon preguntas sobre los diseños, con el propósito de fomentar la reflexión y facilitar la construcción de un modelo final consensuado, integrando los aspectos discutidos.

Para dar interpretación las socializaciones realizadas por los DFI, se organizó la información en torno a categorías y subcategorías emergentes (ver tabla 29), ilustrando cómo cada una se relaciona con las ideas y experiencias expresadas por los participantes. Esta lectura busca, además, evidenciar el potencial didáctico y los aspectos formativos reflejados en las narraciones de los futuros docentes.

Tabla 28

categorías y subcategorías emergentes de la fase modelizadora 4 y 5.

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	
<b>COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO DEL FRACKING</b>	<p><u>PROCESOS TÉCNICOS Y QUÍMICOS</u></p> <p><b>Inyección de agua, arena y químicos</b>  Varios participantes (DFI36, DFI37, DFI43, DFI44, DFI38) describen cómo en la fracturación hidráulica se inyectan grandes cantidades de agua a presión mezclada con arena y compuestos químicos (benceno, tolueno, arsénico, cadmio, etc.). Dichos compuestos se movilizan en el subsuelo y generan la fractura de la roca, liberando el gas o petróleo.</p> <p><b>Fugas y derrames</b>  Se menciona la posibilidad de filtraciones o fugas en los pozos (DFI36, DFI43, DFI46), la dificultad de controlar esos químicos y aguas residuales, y el derrame de petróleo (DFI44) como fuente adicional de contaminación.</p> <p><u>IMPACTOS EN LAS CAPAS SUBTERRÁNEAS</u></p> <p><b>Contaminación de acuíferos</b>  Prácticamente todos los participantes (DFI48, DFI36, DFI37, DFI43, DFI44, DFI46, DFI42, etc.) coinciden en que hay contaminación de fuentes subterráneas de agua. Esta contaminación proviene de los aditivos químicos y de los mismos hidrocarburos que se inyectan, y puede afectar tanto la calidad del agua como la fauna y flora asociadas a estos acuíferos.</p> <p><b>Riesgo de inestabilidad y sismicidad</b>  Varios estudiantes (DFI48, DFI36, DFI38, DFI43, DFI44, DFI46) señalan la relación entre el <i>fracking</i> y la sismicidad inducida. Explican que la fractura de la roca y la inyección de fluidos a alta presión debilitan el suelo, lo que puede derivar en temblores o hundimientos a largo plazo.</p>	
	<b>EFFECTOS AMBIENTALES Y EN LA SALUD</b>	<p><u>DEFORESTACIÓN Y PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD</u></p> <p><b>Dstrucción de ecosistemas y hábitats</b>  Recurrentemente (DFI48, DFI34, DFI43, DFI44, DFI22-24, DFI3-7, DFI4-26, etc.) se menciona la deforestación para instalar la infraestructura del <i>fracking</i>, lo que acarrea la pérdida de flora y fauna nativa. Para algunos (DFI48, DFI34, DFI43, DFI44), esta afectación es “irreversible” al dejar el suelo muy seco e incapaz de regenerarse con facilidad.</p> <p><b>Afectación de la fauna</b>  Los peces y otros organismos acuáticos se ven especialmente amenazados (DFI36, DFI43, DFI10-21, DFI19-33-29). Varios estudiantes dibujan peces muertos, aves afectadas, o mencionan la desaparición de especies ante la filtración de químicos.</p> <p><u>CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y GASES DE EFECTO INVERNADERO</u></p> <p><b>Liberación de metano y dióxido de carbono</b>  De manera repetitiva (DFI48, DFI36, DFI37, DFI43, DFI38, DFI44, DFI46) se hace énfasis en la expulsión de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, metano, óxidos</p>

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
	<p>de nitrógeno, etc.) que se asocian al calentamiento global, la capa de ozono y el cambio climático.</p> <p><b>Salud humana y de trabajadores</b> Algunos participantes (DFI44, DFI38) añaden el componente de salud humana: riesgos de enfermedades respiratorias, cáncer, afecciones neurológicas, especialmente para quienes laboran directamente en las plataformas o zonas de explotación.</p> <p><u>AGUAS RESIDUALES Y DISPOSICIÓN FINAL</u></p> <p><b>Falta de tratamiento adecuado</b> En los discursos de DFI44 y DFI38 se subraya el tema de las “aguas residuales”, mezcladas con químicos e hidrocarburos, que no cuentan con un tratamiento eficiente. Se menciona que a menudo se inyectan en pozos profundos o se entierran en depósitos que no tienen membranas impermeables (DFI44), lo que perpetúa la contaminación del subsuelo y aguas aledañas.</p>
<p><b>DIMENSIÓN SOCIOECONÓMICA Y ÉTICA</b></p>	<p><u>BENEFICIOS ECONÓMICOS Y GENERACIÓN DE EMPLEO</u></p> <p><b>Contraste empleo-contaminación</b> Algunos (DFI38, DFI44, DFI46) plantean que el <i>fracking</i> provee empleo y mueve la economía local y nacional. Sin embargo, esta aparente ventaja contrasta con los costos ambientales y sociales, generando una tensión entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ecológica.</p> <p><u>INTERESES DE LAS EMPRESAS Y AFECTACIÓN DE COMUNIDADES</u></p> <p><b>Ganancia vs. impacto comunitario</b> DFI15-28 y DFI19-18-25 pintan “personas en hamacas” o con “bultos de dinero”, aludiendo a los propietarios de los pozos, a la vez que ilustran poblaciones desplazadas o entornos dañados. Se observa una lectura crítica sobre cómo, al tiempo que unos se enriquecen, otros pierden sus recursos naturales, salud y calidad de vida.</p> <p><u>REFLEXIÓN SOBRE CONSUMO Y DEPENDENCIA</u></p> <p><b>Necesidad de hidrocarburos</b> Aluden (DFI44, DFI38) a la dificultad de reemplazar totalmente los hidrocarburos por energías renovables (energía solar, eólica, etc.), señalando la complejidad de la transición energética y la dependencia de la sociedad a estos recursos.</p>
	<p><u>USO DE REPRESENTACIONES GRÁFICAS Y NARRATIVAS</u></p> <p><b>Variación de expresiones (dibujos, historietas, cómics)</b> Se destaca que cada futuro DFI opta por diferentes recursos gráficos (dibujos a mano, diagramas digitales, uso de colores, historietas, etc.) para explicar y comprender un fenómeno complejo como el <i>fracking</i>. Esto sugiere la creatividad y la multimodalidad de los lenguajes en la enseñanza de las ciencias.</p> <p><b>Componentes simbólicos y metáforas</b></p>

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
<b>MODELIZACIÓN Y PRÁCTICA DOCENTE</b>	<p>Se usan diferentes iconos que ayudan a visualizar las conexiones entre contaminantes, ecosistemas y sociedad (DFI43, DFI38, DFI44).</p> <p><u>APRENDIZAJE COLABORATIVO Y CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO</u></p> <p><b>Retroalimentación y enriquecimiento mutuo</b> Los docentes en formación (DFI43, DFI38, DFI46) comentan cómo escuchar las explicaciones de los demás les permite complementar y profundizar sus propios modelos. Esto evidencia la importancia de las interacciones sociales en la co-construcción de significados científicos.</p> <p><b>Reflexión didáctica: de lo magistral a la actividad creativa</b> Mencionan explícitamente que estas estrategias (comics, dibujos) son alternativas más dinámicas para abordar fenómenos complejos (DFI43, DFI44). Reconocen la posibilidad de “abandonar la clase magistral” y promover la expresión individual y grupal, el uso de representaciones y la discusión como base del aprendizaje en ciencias.</p> <p><u>AMPLIACIÓN DEL ENFOQUE DISCIPLINAR</u></p> <p><b>Integración de lo social, lo político y lo económico</b> Varios estudiantes (DFI38, DFI44, DFI46) van más allá del componente estrictamente “químico” o “ecológico”, invitando a considerar los factores sociales, económicos y éticos vinculados al uso de <i>fracking</i>. Esto sugiere una mirada interdisciplinaria y contextual, fundamental para la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental.</p>

Fuente: Elaboración propia

### **Fase modelizadora 6: Aplicar el modelo**

El análisis de datos para esta fase se centró en examinar cómo los docentes en formación inicial (DFI) aplicaron el modelo consensuado en fases anteriores para interpretar el impacto ambiental de diversas fuentes de energía renovable. Para ello, se diseñó una rúbrica de análisis que permitió evaluar cuatro dimensiones clave: identificación de ventajas y desafíos, impacto ambiental, interpretación contextual y poder predictivo.

Cada una de estas dimensiones fue evaluada en seis niveles progresivos, desde una descripción superficial (nivel 1) hasta análisis exhaustivos que integran múltiples variables contextuales (nivel 6). Esta escala fue construida con base en los desempeños observados durante la actividad y los marcos teóricos de modelización científica y competencia argumentativa.

Durante el análisis, las respuestas de los DFI fueron clasificadas y codificadas de acuerdo con los criterios establecidos, lo cual permitió determinar patrones de desempeño colectivo. Se aplicó un enfoque interpretativo para identificar no solo la profundidad conceptual, sino también la capacidad de transferencia y contextualización de los conocimientos trabajados en la SEA (ver tabla 31).

**Tabla 29**

*Matriz de evaluación del análisis de fuentes de energía.*

Criterio de Evaluación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
<b>Identificación de ventajas y desafíos</b>	No menciona ventajas ni desafíos o presenta ideas incorrectas.	Menciona solo 1 ventaja o desafío por fuente, sin explicación.	Identifica 2 o 3 ventajas y/o desafíos por fuente, con explicaciones vagas.	Identifica al menos 3 ventajas y 3 desafíos, explicando brevemente su relación con el contexto.	Identifica 4 o más ventajas y desafíos con análisis desde perspectivas económicas, sociales o técnicas.	Identifica 4 o más ventajas y desafíos con análisis comparativo y justificación integral desde múltiples dimensiones. Ofrece un análisis detallado de impactos en múltiples componentes, considerando variabilidad ecosistémica y posibles efectos acumulativos. Realiza un análisis multivariable, justificando con evidencia las diferencias contextuales y adaptaciones necesarias.
<b>Impacto Ambiental</b>	No se menciona el impacto ambiental.	Menciona 1 posible impacto sin especificar el componente afectado.	Identifica al menos 2 impactos, pero sin detallar efectos o ecosistemas implicados.	Describe 2 o más impactos con alusión a un componente específico (aire, agua, suelo).	Explica con claridad 3 o más impactos diferenciados según el tipo de energía y contexto ecológico.	Realiza un análisis multivariable, justificando con evidencia las diferencias contextuales y adaptaciones necesarias. Formula escenarios futuros complejos, considerando efectos cruzados, riesgos y estrategias de mitigación.
<b>Interpretación y Análisis de Contexto</b>	No relaciona la fuente energética con el contexto.	Menciona un contexto genérico sin especificidad regional o social.	Relaciona la fuente con 1 variable contextual (ej. clima, geografía).	Incluye 2 variables contextuales y sugiere condiciones de aplicabilidad.	Integra 3 o más factores (tecnológicos, sociales, políticos) en su análisis.	Formula escenarios futuros complejos, considerando efectos cruzados, riesgos y estrategias de mitigación.
<b>Poder predictivo</b>	No formula ninguna anticipación de consecuencias.	Menciona un efecto futuro de forma superficial.	Identifica 1 o 2 consecuencias futuras posibles sin sustento.	Predice efectos a corto plazo con explicación parcial.	Predice efectos a mediano o largo plazo con conexión a experiencias previas o análisis de tendencia.	Formula escenarios futuros complejos, considerando efectos cruzados, riesgos y estrategias de mitigación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la fase 6 del ciclo de modelización, donde los DFI aplicaron el modelo final para evaluar las diferentes fuentes de energía, denominadas renovables. Aquí se consideran las ventajas, desafíos, impactos ambientales y potencial predictivo de cada una. La matriz está diseñada con seis niveles, que evidencia la progresión, es decir el nivel más alto implica mayor detalle, profundidad y análisis.

Para facilitar la lectura, se sintetizan las observaciones principales en la tabla 30:

**Tabla 30**

*Evaluación por criterio y nivel alcanzado en la fase 6 del ciclo de modelización*

<b>Criterio evaluado</b>	<b>Niveles más frecuentes</b>	<b>Casos destacados</b>	<b>Observaciones clave</b>
<b>Ventajas y desafíos</b>	Niveles 2, 3 y 4	DFI 8, 9 (Nivel 4 en eólica, geotérmica e hidráulica)	La mayoría identifica ventajas e inconvenientes generales. Los grupos destacados describen aspectos técnicos, sociales o económicos con más detalle.
<b>Impacto ambiental</b>	Niveles 2 y 3	DFI 8, 9 (Nivel 4 en fuentes específicas)	Se reconocen impactos como contaminación del agua y emisiones, pero sin especificar magnitud ni diferencias por ecosistema. Nivel 4 incluye explicaciones más precisas.
<b>Análisis de contexto</b>	Niveles 1, 2 y 3	DFI 4, 5 (hidráulica); DFI 8, 9	Predomina un tratamiento genérico del contexto. Nivel 3 considera variables como ubicación o disponibilidad, pero sin comparación profunda entre escenarios.
<b>Potencial predictivo</b>	Niveles 1 y 2	DFI 4, 5 y DFI 8, 9 (Nivel 3 en hidráulica)	Es el criterio más débil. Pocas proyecciones a futuro. Nivel 3 muestra anticipación de consecuencias, como conflictos por represas. Nivel 1 implica ausencia total de proyección.

### **Interpretación de las competencias modelizadoras**

Uno de los intereses centrales de esta investigación es analizar las competencias modelizadoras de los docentes en formación inicial (DFI) en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Por tanto, el análisis no se centra en el fenómeno específico abordado en la Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje (SEA)—como el fracking o las energías renovables—sino en cómo los DFI movilizan las distintas prácticas de modelización y dimensiones de metaconocimiento que caracterizan dichas competencias.

Para este propósito, se asumen las definiciones de competencias modelizadoras propuestas por Chiu y Lin (2019b), Oliva (2019b) y Papaevripidou et al. (2014b), que organizan

estas competencias en torno a cuatro dimensiones principales (representación, interpretación mecanicista, interpretación causal y poder predictivo), más una dimensión transversal: el metaconocimiento.

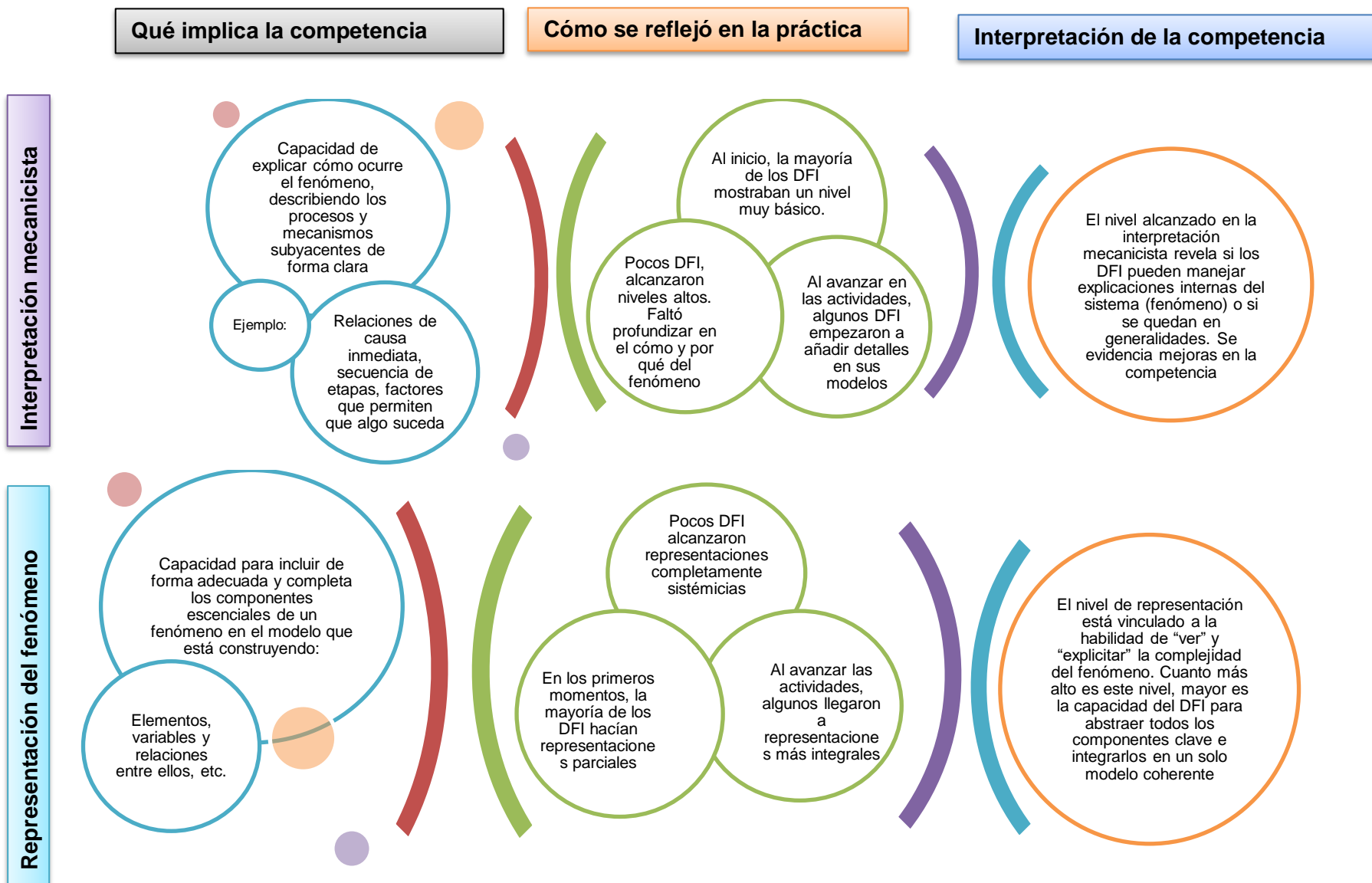
La evaluación del metaconocimiento se realizó a partir del análisis de fragmentos de las producciones escritas y orales de los DFI, en los que estos expresan explícitamente reflexiones sobre los modelos que construyen o aplican. En particular, se consideraron evidencias de:

- Conciencia sobre las limitaciones y alcances del modelo propuesto.
- Justificaciones de las decisiones tomadas al representar un fenómeno.
- Reconocimiento del carácter parcial, útil y revisable del modelo utilizado.
- Expresiones que vinculan el modelo con propósitos explicativos o predictivos.

Estas manifestaciones fueron codificadas y organizadas bajo la categoría de metaconocimiento, distinguiendo entre niveles bajos (ausencia de reflexión o uso acrítico del modelo), intermedios (reconocimiento parcial de su utilidad o límites) y altos (explicación explícita de su propósito, revisabilidad y aplicabilidad contextual).

A continuación, se presenta el diagrama general centrado en las competencias modelizadoras, donde se integran las cuatro dimensiones principales y el metaconocimiento (ver Figura 42):

**Figura 42**  
*Interpretación de las competencias modelizadoras*



Qué implica la competencia

Cómo se reflejó en la práctica

Interpretación de la competencia

Interpretación causal

Capacidad de explicar por qué ocurre el fenómeno, tomando en cuenta las relaciones causa-efecto, que dan sentido al comportamiento observado y permiten comprender las razones detrás de ese comportamiento.

Con la discusión grupal (consensuar el modelo), aparecieron descripciones más elaboradas.

Muchos DFI reconocieron la causa general del fenómeno en estudio. Inicialmente las explicaciones eran parciales.

Aunque se evidenció una progresión en los modelos, pocos DFI llegaron a una visión multicausal.

La habilidad de establecer la cadena causal del fenómeno y sus ramificaciones, demostrando un avance conceptual, ya que no se limita a "cómo funciona" sino a "por qué hay un problema de fondo" y "qué factores se integran para que este exista".

Poder predictivo

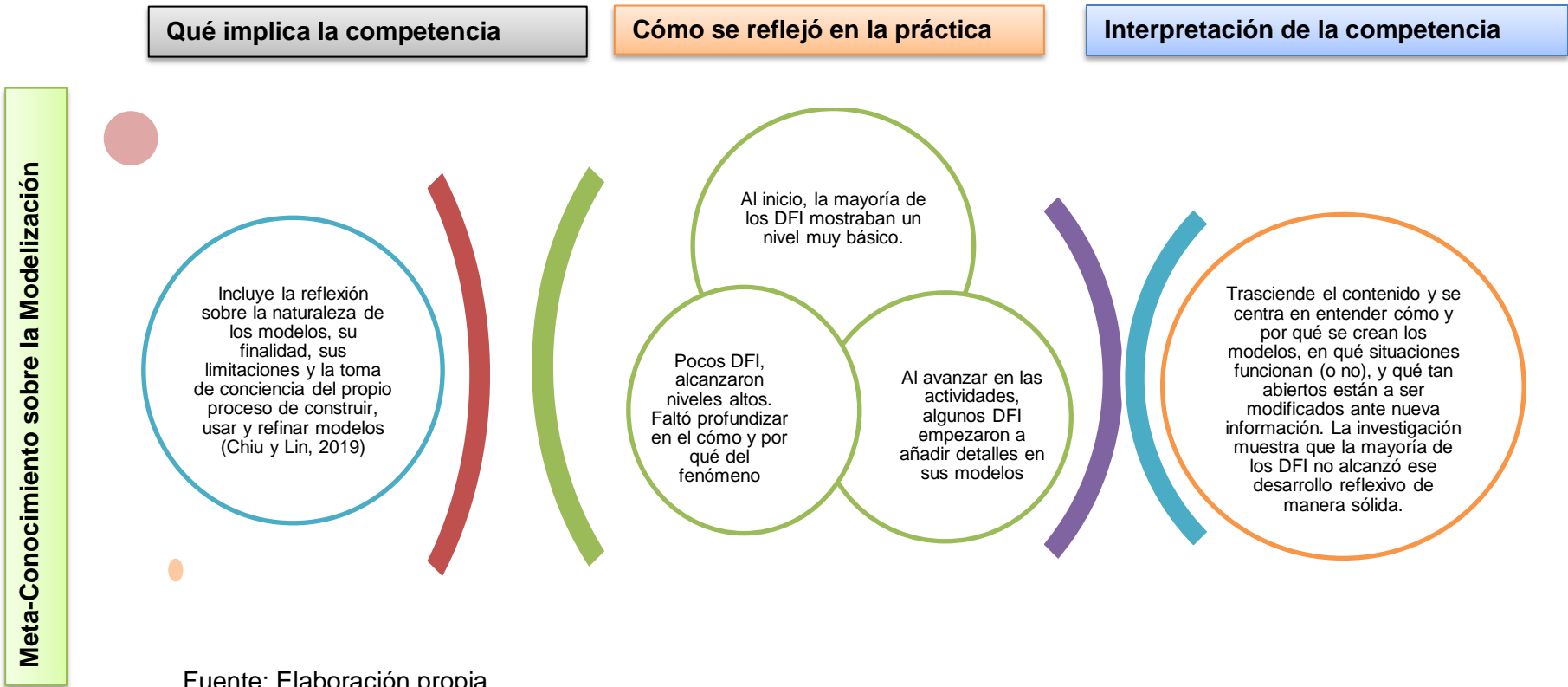
Capacidad de anticipar estados futuros o comportamientos del fenómeno en diferentes condiciones, así como fundamentar esas predicciones con la lógica interna o la evidencia previa.

Desde las primeras respuestas, se percibía la mayor dificultad en prever consecuencias a mediano y largo plazo.

Pocos DFI alcanzaron un nivel alto en predicción del modelo

Al avanzar las actividades, algunos llegaron a representación es más integrales

El poder predictivo es clave en la modelización científica, pues un modelo robusto debe no solo explicar lo que pasa, sino también anticipar qué podría pasar en condiciones distintas. En este estudio, el aspecto predictivo resultó ser el más débil para casi todos los participantes.



#### **4.10.2. Análisis de datos obtenidos del cuestionario**

##### **Pregunta 1**

Para interpretar las respuestas a la primera pregunta del cuestionario, se empleó un enfoque cualitativo basado en codificación abierta, organización temática y vinculación con el marco de las competencias modelizadoras. Las unidades de análisis fueron las justificaciones escritas por los docentes en formación inicial (DFI), que fueron leídas y segmentadas para identificar patrones recurrentes en relación con las actividades valoradas como útiles para comprender la energía en conexión con el impacto ambiental.

La codificación se organizó en torno a categorías emergentes que posteriormente fueron relacionadas con las fases del ciclo de modelización (Couso, 2020) y con dimensiones del metaconocimiento (Chiu y Lin, 2019b). Esto permitió establecer cómo los DFI movilizan prácticas como la expresión del modelo, su evaluación crítica, la aplicación de representaciones gráficas, y la revisión colectiva, a partir de las actividades implementadas en la SEA.

Los recursos visuales (cómic, imágenes, videos) fueron reconocidos como facilitadores para construir representaciones iniciales del fenómeno energético. Las actividades de análisis (como el cuadro de ventajas y desventajas) y de construcción de modelos fueron interpretadas como evidencia de apropiación de prácticas propias de la modelización científica. La discusión grupal fue identificada como un medio para compartir, revisar y consensuar representaciones, contribuyendo así al desarrollo de habilidades metacognitivas en torno al uso y límites de los modelos (ver tabla 31).

##### **Tabla 31**

*Categorías y subcategorías de las respuestas a la pregunta 1 del cuestionario.*

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>SUBCATEGORÍAS</b>	
<b>Recursos visuales</b>	Cómic/Historieta	Varios participantes destacan que la historieta facilita la comprensión inicial de la energía y sus tipos, y lo hace de forma “divertida” y “ágil”.

	Imágenes/Dibujos	El acto de crear o analizar dibujos les permite “visualizar la problemática” y “plasmar ideas” del <i>fracking</i> y el impacto ambiental.
	Videos	Refuerzan la información con ejemplos concretos y ayudan a captar “diferentes puntos de vista” (por ejemplo, videos que muestran posturas a favor o en contra del <i>fracking</i> ).
<b>Estrategias de Comprensión Crítica</b>	Ventajas y Desventajas	Algunos mencionan que el cuadro comparativo de pros/contras o la descripción de efectos ambientales fue clave para “concientizarse sobre el impacto ambiental”.
	Modelos Científicos	Se remiten a la importancia de “comprender el <i>fracking</i> ” a través de un modelo que muestre procesos, fases y consecuencias ambientales. En menor medida, se menciona la discusión entre compañeros como un recurso que “enriquece la visión” y “amplía la perspectiva”, pues cada uno aporta algo distinto.
<b>Colaboración y Debate</b>		

*Fuente.* Elaboración propia

## **Pregunta 2 – Sugerencias para mejorar la SEA**

Las respuestas fueron analizadas mediante una codificación abierta que permitió generar categorías y subcategorías inductivas. Posteriormente, se aplicó un proceso de análisis temático para identificar patrones comunes en las sugerencias de mejora a la Secuencia Escolar de Aprendizaje (SEA).

Este análisis reveló que las percepciones de los DFI apuntan principalmente a tres ejes: recursos didácticos, estructura de la secuencia y contextualización (ver tabla 32). Cada uno de estos ejes permite establecer conexiones con las prácticas modelizadoras, en tanto que:

- La solicitud de más audiovisuales y dinámicas colaborativas se vincula con la construcción y uso de modelos a partir de múltiples representaciones.
- Las críticas al ritmo o a las transiciones se asocian con la evaluación y revisión del modelo como proceso reflexivo.
- La demanda de contextualización evidencia una necesidad por aplicar modelos a realidades próximas, lo que fortalece la dimensión de meta-conocimiento contextualizado.

Tabla 32

Categorías y subcategorías de las respuestas a la pregunta 2 del cuestionario

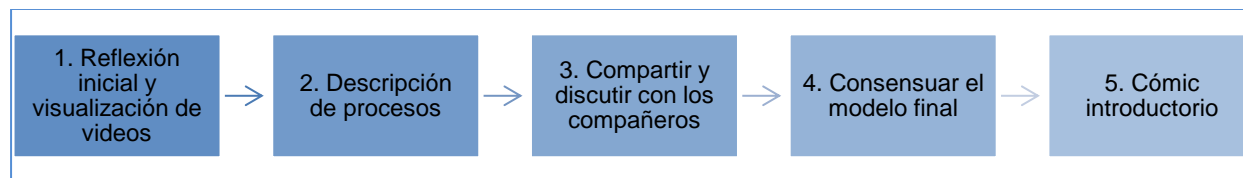
CATEGORÍAS		SUBCATEGORÍAS	
<b>Recursos estrategias pedagógicas</b>	y	Audiovisuales (Videos, cortometrajes)	Algunos participantes proponen incluso un corto de los Simpson o buscar videos actualizados.
		Dinámicas colaborativas	Se pide “trabajo en equipo”, “interacción grupal”, “actividades envolventes”.
		Actividades más prácticas	Ideas de experimentos, maquetas, mapas mentales, representaciones con movimiento corporal o uso de territorio.
<b>Diseño estructura</b>	y	Más tiempo / ritmo más pausado	Varios comentan que la secuencia fue rápida, impidiendo la asimilación profunda.
		Transiciones claras	La crítica al paso “cómic → <i>fracking</i> ” sin introducir de forma más explícita las energías fósiles (petróleo) o explicar sus bases antes de saltar a la problemática.
<b>Contextualización e información</b>		Noticias regionales y globales	Pedir ejemplos recientes, datos locales de impacto ambiental, cosmovisiones indígenas, mapas mentales ligados al territorio colombiano.
		Actualización	Añadir información más reciente y datos concretos sobre efectos del <i>fracking</i> o energías renovables.
<b>Reacciones de conformidad</b>			Algunos participantes señalan no haber encontrado vacíos, considerando que la SEA está “completa” o “bien organizada”.

### Preguntas 3 y 4

Se realizó una triangulación entre el análisis de frecuencia (cuantitativo) y el análisis temático (cualitativo) de las respuestas.

En la pregunta 3, se identificaron las actividades más seleccionadas por los DFI. Las frecuencias se agruparon por fases del ciclo de modelización (reconocer, expresar, evaluar, revisar, consensuar, aplicar), lo cual permitió observar qué fases fueron más valoradas para el aprendizaje de las ciencias. En la pregunta 4, se interpretaron las razones por las cuales los DFI jerarquizan las actividades seleccionadas. A través de codificación axial, se agruparon las justificaciones en categorías temáticas, evidenciando las funciones didácticas que los DFI atribuyen a cada tipo de actividad.

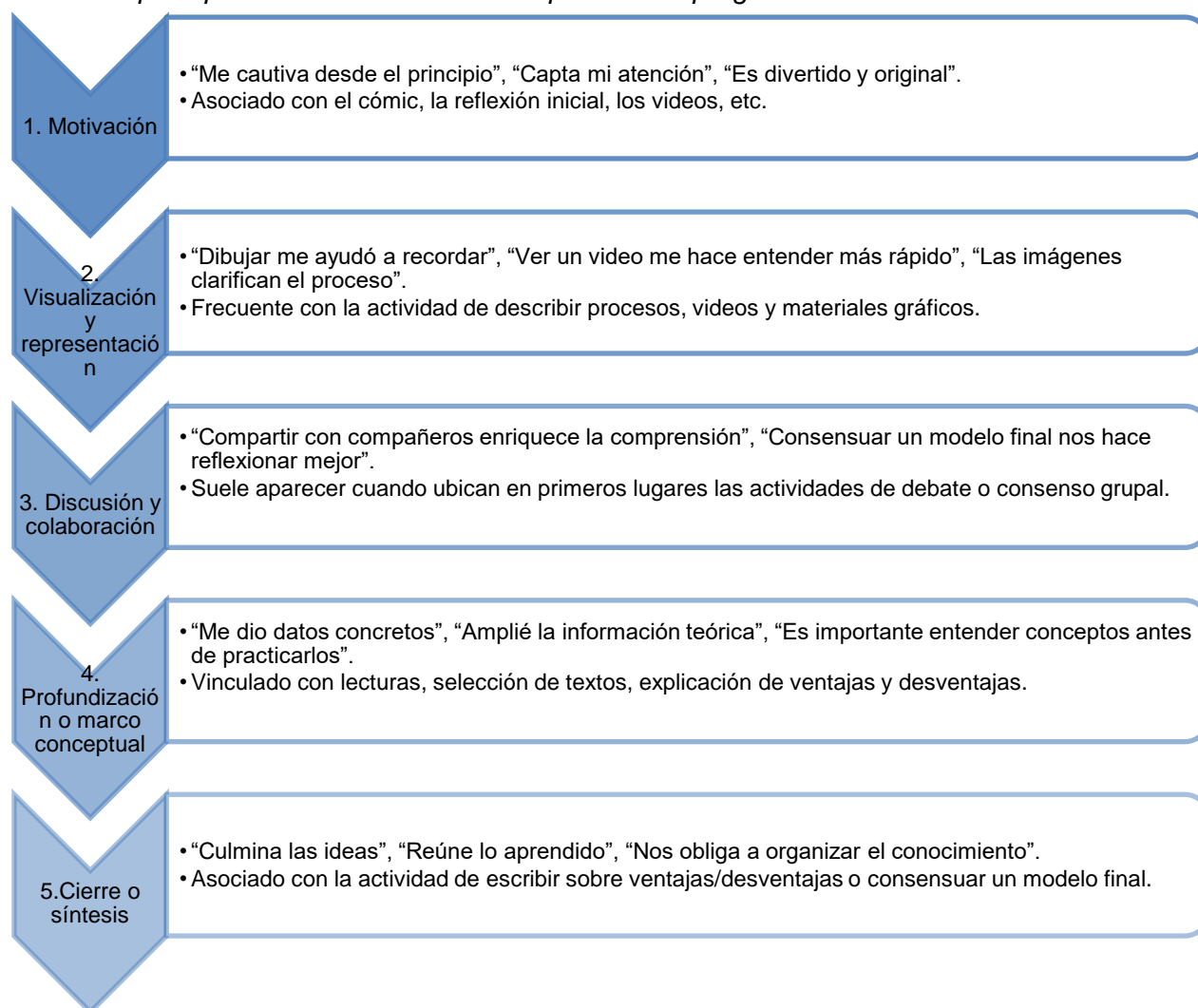
A partir de la frecuencia en las respuestas, se observa cuáles actividades se percibieron como más efectivas para el aprendizaje de las ciencias, se organizaron de mayor a menor.



Luego de etiquetar las justificaciones, se observan que las razones principales para poner una actividad en primer, segundo, tercer, cuarto o quinto lugar. Se relacionan en la figura 43.

**Figura 43**

*Razones principales identificadas en la respuesta a la pregunta 4*



En conjunto, luego de la interpretación de los resultados, la pregunta 4 revela las razones didácticas por las cuales los DFI prefieren ciertas actividades, como: atraer el interés, facilitar la comprensión, generar discusión y cerrar con una reflexión global.

A partir de las razones expresadas por los DFI en la pregunta 4 y sistematizadas en el Diagrama 2, se considera relevante analizar si estas justificaciones se aproximan a las finalidades propias de las prácticas modelizadoras. Estas finalidades incluyen: comprender fenómenos complejos mediante representaciones, establecer relaciones causales, anticipar consecuencias, revisar colectivamente los modelos y aplicar lo aprendido en nuevos contextos. En este sentido, razones como “facilitar la comprensión” y “generar discusión” se vinculan directamente con los propósitos de construir representaciones significativas y de fomentar la revisión colaborativa de modelos. Asimismo, el énfasis en “cerrar con una reflexión global” puede relacionarse con el meta-conocimiento y la capacidad de transferencia. Por otro lado, justificaciones como “atraer el interés” o “ser una actividad llamativa” no se relacionan directamente con las finalidades epistemológicas de la modelización, aunque sí cumplen un rol importante como facilitadoras del proceso didáctico. Finalmente, se observa que hay una escasa referencia explícita a fines como la explicación causal o el poder predictivo del modelo, lo cual señala una posible área de mejora para fortalecer la apropiación de estas dimensiones en la formación inicial docente.

### **Pregunta 5**

Para interpretar la información, se realizó una codificación que refleja los ejes conceptuales clave al describir este enfoque didáctico.

*Código 1:* Construcción de modelos (Creación de esquemas, dibujos, maquetas o simulaciones que representen fenómenos).

*Código 2:* Partir de conocimientos previos (Vincular lo que el estudiante ya sabe o percibe antes de formalizar los conceptos)

*Código 3:* Explicación gradual del fenómeno (Descomponer el contenido en partes, de manera progresiva y didáctica)

*Código 4:* Retroalimentación y perfeccionamiento (Revisión y mejora de los modelos con la ayuda del profesor y de los compañeros.

*Código 5:* Conexión con la vida real (Aplicar estos modelos a contextos cercanos o problemas reales)

*Código 6:* Rol activo del estudiante (Participación, exploración y construcción conjunta del conocimiento)

A partir de estos códigos, se agruparon las ideas en tres categorías principales:

**Categoría 1:** *Naturaleza del Enfoque*



- Construcción de modelos
- Explicación gradual del fenómeno
- Retroalimentación y perfeccionamiento

**Categoría 2:** *Rol del estudiante y de los conocimientos previos*



- Partir de los conocimientos previos
- Rol activo del estudiante

**Categoría 3:** *Finalidad y contexto*



- Conexión con la vida

Luego de la lectura de cada una de las encuestas, surgieron varios hallazgos:

Inicialmente la Relevancia de la creación de modelos, ya que, para explicar la modelización a alguien nuevo, se enfatiza en la *representación* de fenómenos a través de herramientas como esquemas, dibujos o simulaciones. Esto se ve como un *puente* que acerca la teoría científica a una visualización más tangible.

Los docentes en formación resaltan el papel del estudiante en la construcción de los modelos. Ser parte de sus conocimientos previos y recurrir a la retroalimentación y discusión para mejorar continuamente esos modelos, evidenciando un aprendizaje colaborativo. Adicionalmente, se describe la modelización como un método dinámico, enfocado en crear,

reformular, aplicar y debatir. Permite relacionar el fenómeno científico con la vida diaria, mostrando su utilidad y pertinencia en el entorno.

Desde una visión pedagógica, a menudo se menciona la secuencia típica que sigue la modelización, ver figura 44:

#### **Figura 44**

*Secuencia típica que sigue la modelización, luego de la interpretación de datos de DFI*



Fuente: Elaboración propia

#### **Pregunta 6**

Luego de la codificación e interpretación de resultados, se puede extraer que la clase de Ciencias ideal según los participantes se caracteriza por diseñar actividades dinámicas y prácticas que despierten curiosidad y conecten con la realidad de los estudiantes.

Así mismo, que se mantenga el equilibrio entre teoría y práctica, donde lo conceptual sustenta la experimentación y viceversa, garantizando un aprendizaje significativo. Resaltan que es indispensable la Interacción basada en el diálogo y la colaboración, con un profesor que acompaña y orienta, y estudiantes que se involucran de manera activa. Adicionalmente, es fundamental el papel protagónico del estudiante en la construcción de su propio conocimiento, favoreciendo su autonomía, responsabilidad e interés.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, también comentan la importancia de las estrategias didácticas diversas y centradas en la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la reflexión crítica de los fenómenos de la ciencia.

A continuación, se comparte la agrupación de códigos en categorías:

<b>Categoría</b> <i>Actividades y Recursos</i>	<b>1:</b> y	{ Incluye todo lo relacionado con las actividades que el docente organizaría, entre experimentos, laboratorios, salidas de campo, uso de videos, talleres, debates, entre otros.  También recoge la motivación de hacerlas dinámicas, integradoras y cercanas a la realidad del estudiante.
<b>Categoría</b> <i>Relación Teoría - Práctica</i>	<b>2:</b>	{ Describe la integración de los conceptos con la experimentación.  Suele enfatizar la importancia de contextualizar la teoría con ejemplos concretos.
<b>Categoría</b> <i>Interacción y Ambiente de Clase</i>	<b>3:</b> y	{ Se refiere al clima de comunicación, cercanía, respeto, colaboración.  Incluye la distribución de roles entre profesor y estudiantes y cómo se relacionan.
<b>Categoría</b> <i>Activo Estudiante Aprendizaje Auténtico</i>	<b>4:</b> Rol del Estudiante /	{ Resalta la participación del estudiante en la construcción del conocimiento, su autonomía, la posibilidad de proponer e investigar.  Aparecen menciones a la construcción social y la reflexión individual y colectiva.
<b>Categoría</b> <i>Estrategias Didácticas</i>	<b>5:</b>	{ Reúne las metodologías propuestas: Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), uso de TIC, modelización, debates, aprendizaje cooperativo, etc.

#### **4.10.3. Análisis de las SEA´s diseñadas por los DFI**

A continuación, se presenta la interpretación de datos de ocho secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) diseñadas por docentes en formación inicial, cuyo eje temático es la enseñanza de la energía desde un enfoque de modelización. A cada DFI se le solicitó que eligiera una idea de energía del “currículo operativo de energía”, propuesta por (López-Simó y Couso, 2022), que fuera diferente a la abordada en el seminario con la investigadora.

Para cada SEA se contó con tres fuentes de información:

1. Documento escrito de la propuesta didáctica.
2. Intervención oral durante el encuentro de socialización.
3. Comentarios reflexivos realizados por cada DFI respecto al proceso de diseño y sus decisiones pedagógicas.

#### **Procedimiento metodológico**

El análisis de los datos se desarrolló en tres niveles complementarios:

##### **a) Codificación cualitativa y categorización emergente:**

A partir de una lectura detallada de los documentos y transcripciones, se realizó una codificación abierta, axial y selectiva (Strauss Y Corbin, 2002), lo que permitió identificar patrones recurrentes en el diseño y fundamentación de las SEA. Estas codificaciones derivaron en cinco categorías emergentes:

1. Enfoque de modelización y diseño didáctico,
2. Metodologías activas y recursos de aula,
3. Contextualización y conexión con el entorno,
4. Competencias ciudadanas y valores ambientales, y
5. Evaluación y reflexión sobre el aprendizaje.

**Categoría 1:**  
Enfoque de Modelización y Diseño Didáctico:

Agrupar las estrategias y perspectivas mediante las cuales los futuros docentes organizan la enseñanza de la energía siguiendo fases de modelización.

**Código:** “Ciclo de modelización”

(DFI 1): “Tener en cuenta que basadas en las ideas de Couso, estas tienen seis fases...”

(DFI 6): “...basado en el ciclo de modelización que implica reconocer, expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar.”

**Código:** “Secuencia estructurada”

(DFI5): “El objetivo es lograr que los estudiantes comprendan cómo se pueden aprovechar tecnológicamente los diferentes tipos de recursos energéticos...”

(DFI2): “...mi idea se titula ‘Energía en equilibrio entre la conservación y la degradación’, donde buscamos que el concepto de energía tenga un nuevo enfoque...”

**Código:** “Uso de referentes teóricos”

(DFI 1): “La temática para el diseño... está basada en las ideas de Couso, López y Simón...”

(DFI 3): “...teniendo en cuenta los estándares de competencia para grado quinto y basándome en la propuesta de...”

**Categoría 2:**  
Metodologías Activas y Recursos de Aula:

Evidencia la implementación de dinámicas participativas, experimentos, juegos, debates, y uso de TIC que favorecen la construcción colaborativa del conocimiento.

**Código:** “Actividades experimentales y demostraciones”

(DFI3): “...como experimento de motivación, propongo que los estudiantes observen el cambio de estado del agua líquida a hielo y expliquen qué sucede a nivel de átomos y moléculas.”

(DFI2): “...por medio de experimentos como el péndulo, demostramos los procesos de conservación de la energía...”

**Código:** “Uso de simuladores y entornos virtuales”

(DFI 1): “...se va a llevar a cabo la exploración en una realidad aumentada, esto gracias a simuladores Landscape y Stellarium...”

(DFI 2): “...vamos a utilizar el simulador PhET que le permite al estudiante revisar y consensuar un modelo...”

**Código:** “Uso de referentes teóricos”

(DFI6): “...un juego de roles titulado ‘el gran desafío energético’, cada estudiante es un gobernante que debe gestionar la energía de su ciudad...”

(DFI8): “...para evaluar el modelo final, propongo un juego de ‘escaleras y serpientes’, cada vez que avancen deben responder preguntas relacionadas con la transición energética...”

**Categoría 3:**

*Contextualización y  
Conexión con el  
Entorno:*

En esta categoría se agrupan códigos que resaltan el interés por contextualizar la enseñanza de la energía en situaciones cotidianas y el uso de ejemplos vinculados al entorno local y global.

**Código:** “Situaciones del contexto local”

(DFI 5): “...la idea es reconocer cómo se aprovechan los recursos energéticos en nuestro contexto, si estamos en la ciudad o el campo, y qué tecnologías se usan.”

(DFI 3): “...salimos al patio de la institución con cuaderno y colores en busca de ejemplos de cambios de energía...”

**Código:** “Problemas ambientales e intervención humana”

(DFI 4): “...la idea es que los estudiantes comprendan cómo se transfiere la energía en el ecosistema y el impacto de nuestras acciones sobre el flujo de energía en el planeta...”

(DFI 8): “...propongo un noticiero ambiental en el que discutan la erosión, contaminación, deforestación, y sus efectos en la cadena trófica...”

**Código:** “Transición energética y sostenibilidad”

(P8): “...para que los estudiantes visualicen cómo la toma de decisiones colectivas contribuye al cambio energético, ese tránsito de energías fósiles a energías limpias...”

(P7): “...surgirían nuevos deberes y derechos energéticos, no solo los estipulados en la norma, sino también otros que respondan a la evolución del planeta...”

**Código:** “Responsabilidad y participación”

(DFI7): “...desarrollar una actitud responsable y comprometida con el uso eficiente de la energía valorando su importancia en el bienestar de la comunidad...”

(DFI4): “...argumentar a partir de casos reales los efectos de la intervención humana y proponer posibles acciones para mitigarlos...”

**Código:** “Derechos y deberes energéticos”

(DFI7): “...la idea es reconocer mis deberes y derechos energéticos, y ver cómo se conectan con la protección del ecosistema...”

**Código:** “Trabajo colaborativo y pensamiento crítico”

(DFI3): “...me parece muy importante resaltar el trabajo en equipo, que aprendan a escucharse y valorar ideas entre ellos...”

(DFI2): “...este concepto de energía pase a un campo más amplio, que les permita reflexionar en contextos como el fracking o el calentamiento global...”

**Categoría 4:**

*Competencias  
Ciudadanas y Valores  
Ambientales:*

Refleja el interés de los futuros docentes en formar estudiantes críticos, responsables y capaces de tomar decisiones éticas en torno a la energía.

**Categoría 5:**  
*Evaluación y Reflexión sobre el Aprendizaje:*

Reúne códigos que aluden a mecanismos de evaluación y espacios de metacognición promovidos en las SEA's.

**Código:** “Matriz de evaluación y rúbricas”

(P1): “...presenta, entonces, una matriz de análisis, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, para que los estudiantes puedan comunicar sus modelos...”

(P2): “...es ahí donde se realizará la evaluación con una rúbrica, para que el estudiante reflexione sobre lo que aprendió y su proceso...”

**Código:** “Autoevaluación y coevaluación”

(P4): “...la idea es que discutan cómo se transmite la energía y cada uno explique su diagrama de ecosistema...”

(P6): “...al final, se propone nuevamente representar la energía y observar ese tránsito conceptual que tuvieron desde el inicio...”

**Código:** “Juegos de consolidación”

(P8): “...propongo un juego de escaleras y serpientes con preguntas que demuestren cuánto apropiaron de la transición energética...”

(P4): “...un bingo energético donde cada estudiante asocia definiciones y conceptos para afianzar sus aprendizajes...”

b) Criterios evaluativos y construcción de rúbrica:

Con base en la literatura especializada (Schwarz et al., 2009; Chiu Y Lin, 2019; Nicolaou y Constantinou, 2014), se elaboró una rúbrica que permitió valorar la presencia y profundidad de los cinco componentes esenciales de las competencias modelizadoras:

**Tabla 33**

*Rúbrica de valoración*

<b>Componente</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Tipo de dato</b>
<b>Construcción de modelos</b>	Elaboración inicial de representaciones o esquemas de energía	Nominal (presente/ausente)
<b>Uso de modelos</b>	Aplicación del modelo en actividades prácticas o simuladas	Ordinal (0 a 3)
<b>Comparación de modelos</b>	Contraste entre modelos alternativos o previos	Ordinal (0 a 3)
<b>Revisión y refinamiento</b>	Modificación o mejora del modelo a lo largo de la SEA	Ordinal (0 a 3)

<b>Meta-conocimiento</b>	Reflexión sobre el proceso modelizador y las decisiones tomadas	Ordinal (0 a 3)
--------------------------	-----------------------------------------------------------------	-----------------

*Nota.* Los niveles ordinales se definieron como: 0 = no presente; 1 = incipiente; 2 = intermedio; 3 = avanzado.

c. Análisis estadístico-descriptivo

Los datos obtenidos mediante la rúbrica fueron sistematizados en tablas de frecuencia y porcentajes, lo que permitió identificar tendencias generales y diferencias entre las propuestas. Se calcularon medidas de tendencia central (moda y media) para los componentes ordinales. A continuación, se presentan las tablas respectivas tabla 33 y 34:

**Tabla 34**

*Frecuencias absolutas por nivel de apropiación de competencias modelizadoras en las SEA diseñadas por los DFI*

Nivel	Construcción de modelos	Uso de modelos	Comparación de modelos	Revisión de modelos	Meta-conocimiento
<b>0</b>	0	0	3	3	0
<b>1</b>	0	2	3	4	5
<b>2</b>	4	4	2	1	3
<b>3</b>	4	2	0	0	0

*Nota:* Esta tabla presenta la frecuencia absoluta con la que se identificó cada nivel de apropiación para los cinco componentes clave.

En los datos se observa, que la “construcción de modelos” se encuentra mayoritariamente en niveles intermedio y avanzado, mientras que la “comparación” y la “revisión” muestran alta presencia de niveles bajos.

**Tabla 35**

*Porcentaje de SEA según nivel de apropiación por componente de competencia modelizadora*

Nivel	Construcción de modelos	Uso de modelos	Comparación de modelos	Revisión de modelos	Meta-conocimiento
<b>0</b>	0.0%	0.0%	37.5%	37.5%	0.0%
<b>1</b>	0.0%	25.0%	37.5%	50.0%	62.5%

<b>2</b>	50.0%	50.0%	25.0%	12.5%	37.5%
<b>3</b>	50.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%

La tabla permite visualizar tendencias generales. Resalta que la mitad de las propuestas alcanza el nivel avanzado en construcción de modelos, mientras que ningún DFI alcanza dicho nivel en los componentes de comparación, revisión o meta-conocimiento.

La tabla 35 sintetiza los niveles predominantes mediante moda y media. Se destaca que “construcción de modelos” alcanza el promedio más alto (2.5), mientras que “comparación” y “revisión” presentan medias inferiores a 1.0, evidenciando que estas fases son las menos desarrolladas por los futuros docentes.

**Tabla 36**

*Niveles predominantes mediante moda y media.*

<b>Componente</b>	<b>Moda</b>	<b>Media</b>
Construcción de modelos	2	2.50
Uso de modelos	2	2.00
Comparación de modelos	1	0.75
Revisión de modelos	1	0.75
Meta-conocimiento	1	1.50

Esta estrategia permitió evaluar con mayor precisión el grado de apropiación de las competencias modelizadoras.

## Capítulo 5. Discusión de los resultados

### 5.1. Hallazgos relacionados con el objetivo específico uno

A continuación, se presenta el análisis basado en el estudio de caso lo que concretó la participación de 53 docentes en formación inicial (DFI) que cursan la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, de dos universidades colombianas, respecto a los hallazgos relacionados con el Objetivo Específico 1 de la investigación.

El análisis se organizó a partir de cuatro componentes que se usaron para evaluar las competencias modelizadoras que involucra *la representación del fenómeno, interpretación mecanicista, interpretación causal y poder predictivo*, luego de una adaptación de (Papaevripidou et al., 2014b). Precisando, que adicionalmente se evaluó de manera transversal el componente metacognitivo referido al uso, límites y perfeccionamiento de los modelos (Chiu y Lin, 2019b).

En coherencia con Hernández Sampieri et al. (2018) y Flick (2004), se aplicó una triangulación metodológica que incluyó, la triangulación analítica, de fuentes y técnicas.

En la triangulación analítica se realizó la comparación de resultados teniendo en cuenta la distribución de los niveles 1-6 en cada dimensión, con la información obtenida a partir de sus reflexiones, modelos escritos y textuales. Así mismo, se realizó la validación cruzada de hallazgos en cada fase del ciclo de modelización (Couso, 2020) y su correspondencia con la literatura (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2009; Schwarz et al., 2009).

En la triangulación de fuentes se tuvieron en cuenta los modelos gráficos, comentarios reflexivos, observaciones y discusiones grupales, diseños didácticos de la secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) y en la triangulación de técnicas se consideraron las rúbricas específicas para evaluar los niveles emergentes de modelización (Papaevripidou et al., 2014a; Constantinou et al., 2019), la codificación cualitativa (abierta, axial y selectiva) de los fragmentos discursivos (ver Tabla 34) y el contraste con referentes teóricos sobre modelización en ciencias (Gilbert y Justi, 2016; Couso, 2020).

Luego del análisis, se observa que los DFI muestran un desarrollo progresivo, pero parcial. Los participantes muestran avances en la representación y en la interpretación causal de fenómenos como el *fracking*, reconociendo diversos factores (químicos, económicos, ambientales). Sin embargo, la interpretación mecanicista sigue siendo limitada (nivel básico), y el poder predictivo se mantiene casi ausente. Este patrón sugiere la necesidad de profundizar en estrategias en los programas de LCNyed que fortalezcan el cómo y el porqué de los fenómenos con mayor rigor científico. Estos resultados se alinean con lo planteado por Windschitl et al. (2008) y Schwarz et al. (2009), quienes señalan que la modelización requiere competencias cognitivas y epistemológicas elevadas, además de un acompañamiento didáctico sistemático.

Sin embargo, ante la situación planteada, el análisis cualitativo revela un alto nivel de conciencia en torno al impacto ambiental y las implicaciones éticas del uso de tecnologías energéticas. Lo anterior no siempre se traduce en modelos científicos más robustos, pero sí en actitudes reflexivas y sensibilidad hacia la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias naturales y Educación ambiental. Tal hallazgo concuerda con la tensión entre la dimensión axiológica y la comprensión conceptual (Acevedo, 2009; Adúriz-Bravo, 2011).

Así mismo, se requiere fomentar la metacognición, que en efecto es entender para qué sirven los modelos, que limitaciones que tienen y como se pueden perfeccionar, sin dejar de lado la perspectiva sistémica, la de proyección a mediano y largo plazo que hace parte del poder predictivo. Lo anterior sugiere que los DFI requieren acompañamiento para explorar escenarios, cuantificar variables y utilizar evidencias como datos, estudios de impacto, entre otros.

No obstante, el análisis de los modelos escritos y las discusiones en grupo muestra que la modelización resulta ser un recurso bastante potente para involucrar activamente a los futuros docentes en la comprensión de fenómenos complejos. Igualmente, para mejorar la apropiación de estas competencias, se sugiere prolongar las fases de socialización, ofrecer recursos más profundos como lecturas de artículos científicos, análisis de datos reales, y promover estrategias colaborativas que incentiven la construcción colectiva del conocimiento.

A continuación, (ver tabla 34) se comparten algunos fragmentos de las respuestas escritas y el conjunto de códigos asignados en la codificación abierta, que forman parte de la codificación cualitativa

**Tabla 37**

*Algunos fragmentos de las respuestas escritas y el conjunto de códigos asignados en la codificación abierta:*

FRAGMENTO SELECCIONADO	CÓDIGOS ASIGNADOS
<i>“La energía eólica sí contamina menos, pero hay que ver cuánto espacio requiere y si afecta migraciones de aves.”</i> DFI48	energía eólica, impacto fauna, cuestionamiento energías renovables
<i>“En el fracking se inyecta una mezcla de agua y químicos tóxicos. Puede filtrarse al subsuelo y contaminar acuíferos.”</i> DFI2	contaminación acuíferos, químicos, riesgos fracking, mecanismos parciales
<i>“Si las empresas solo buscan ganancia, se pasa por alto la salud de la gente en la zona.”</i> DFI9	tensión desarrollo-sostenibilidad, afectación comunidades
<i>“Me faltó explicar mejor que los químicos pueden quedar atrapados por mucho tiempo en la roca, y no sabemos si a futuro se liberan en el suelo.”</i> DFI38	limitaciones del modelo inicial, ampliación de la explicación de procesos subterráneos, conciencia predictiva.
<i>“Entiendo la parte de contaminación del agua, pero ¿qué pasa con la liberación de metano y su relación con el calentamiento global? Creo que deberíamos incluir eso en nuestro esquema.”</i> DFI44	impacto climático, integración de múltiples niveles de impacto, interacción social para mejora de modelo.

Este proceso de codificación abierta se sistematizó para identificar patrones, que luego se agruparon en categorías de mayor nivel (codificación axial) y derivaron en las interpretaciones finales (codificación selectiva). Con referencia a lo anterior, se muestran los hallazgos más relevantes de acuerdo con las fases del ciclo de modelización y las categorías resultantes.

### **Representación del fenómeno**

En los niveles de representación del fenómeno, la mayoría de los estudiantes participantes (cerca del 70%) se ubicó en niveles 2 y 3 de un total de 6 niveles, reconociendo aspectos clave como la perforación, la inyección de fluidos y la liberación de hidrocarburos, pero sin abarcar todas las interacciones propias del fenómeno en estudio, por ejemplo, afectación de acuíferos subterráneos y volatilización de químicos.

En el orden de las ideas anteriores, pocos DFI articularon un modelo *sistémico* que lograra integrar aspectos como roca, presión, fugas, tratamiento de aguas residuales y ecosistema circundante. Esto sugiere que, en el proceso de construcción del modelo, se privilegian los elementos básicos del fenómeno, sin profundizar en la dinámica integrada.

Este hallazgo concuerda con Treagust et al. (2002), quienes destacan la complejidad de manejar múltiples variables en la construcción de representaciones científicas escolares.

### **Interpretación mecanicista (Cómo funciona)**

En los modelos iniciales, los DFI describen la perforación y el uso de agua a presión de manera genérica. Al revisar los gráficos, se encontró que muchos recurren a frases como “la roca se fractura y sale el gas”, sin detallar el proceso fisicoquímico. En ese mismo sentido, varios participantes mencionan no tener claridad sobre la composición de fluidos inyectados, ni sobre la forma en que estos fluidos podrían contaminar acuíferos. Esto se podría ver como una oportunidad de mejora en la interpretación mecanicista, ya que se reconocen fenómenos “macro” como fractura y contaminación, pero no se analizan procesos intermedios como la difusión de químicos y la migración de fluidos en formaciones geológicas.

Según Gilbert (2004), la interpretación mecanicista exige una comprensión intermedia o avanzada de las relaciones causa-efecto y la mediación de variables. El escaso detalle detectado confirma la necesidad de actividades más específicas que promuevan la exploración de mecanismos subyacentes (Clement, 2000)

### **Interpretación causal (por qué ocurre y qué efectos produce)**

Entre los participantes, surgen ideas sobre la motivación económica como la reducción de importaciones y la generación de empleo, como causas de la expansión del *fracking*. También se hace alusión a la demanda energética creciente como factor que impulsa ese tipo de tecnologías. No obstante, la mayoría de los DFI reconoce la contaminación del agua subterránea, la deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero como consecuencias importantes.

Pocos profundizan en causalidades complejas, por ejemplo, mayor sismicidad inducida o alteraciones en rocas o suelos; no obstante, sí se exhibe conciencia crítica de que la tecnología no está exenta de riesgos.

Este panorama coincide con lo descrito por Osborne (2014), quien menciona que los estudiantes y futuros docentes suelen identificar causas globales (buscar energía), pero no necesariamente articulan explicaciones robustas de cómo se da el proceso.

### **Poder predictivo (Escenarios futuros)**

En la elaboración de modelos y las socializaciones propias del ciclo de modelización que se llevaron a cabo, se evidenció que la proyección de consecuencias a mediano y largo plazo es el aspecto menos abordado. Apenas un 2% de los participantes alcanzó niveles 4 o 5, donde se anticipa el agotamiento de recursos hídricos, la afectación de la biodiversidad o los conflictos socioeconómicos. Así mismo, no se observaron intentos por indicar índices de contaminación, proyecciones de emisiones o impactos económicos a futuro. Gilbert y Justi (2016) enfatizan que el poder predictivo requiere de la iteración entre datos empíricos, proyecciones y validación de hipótesis. Al no contar con suficiente apoyo didáctico en este aspecto, los DFI se quedan en una visión estática del *fracking* y sus efectos inmediatos.

### **Metacognición y reflexión didáctica**

Aunque no se evaluó de manera directa la conciencia sobre la limitación de los modelos o su oportunidad de mejora, algunos DFI expresaron que sus modelos eran *simplificaciones* y que la realidad implicaba más variables. Esto indica que la meta-modelización apunta a un pensamiento reflexivo sobre los límites de la explicación científica escolar.

Por otro lado, en las diferentes fases de socialización, varios DFI destacaron la utilidad de la estrategia de modelización para enseñar fenómenos complejos, mencionando la posibilidad de *despertar la curiosidad* y la discusión con *evidencia*. Sin embargo, el uso de recursos digitales o la evaluación de la profundidad conceptual todavía se percibe como un desafío. Varios DFI

valoran la modelización como un recurso potente para enseñar fenómenos ambientales complejos y propiciar debates (Couso, 2020; Oliva, 2019b).

Sin embargo, se advierte que el componente metacognitivo (consciente y sistemático) requiere de guías de autoevaluación y espacios de socialización estructurados, en sintonía con lo recomendado por Chiu y Lin (2019b).

## **5.2. Hallazgos relacionados con el objetivo específico dos**

A continuación, se comparte el análisis de los hallazgos relacionados con el segundo objetivo específico de la presente investigación. Para la recolección de datos, se aplicó un cuestionario (adaptado de Soto Alvarado, 2019) a los DFI tras su participación en una Secuencia Escolar de Aprendizaje (SEA) sobre una idea de energía y su impacto ambiental. Así mismo, se realizó el análisis de ocho secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por algunos de estos futuros docentes, basadas en los principios de la modelización científica. Para abordar el estudio de caso se buscó describir, interpretar y comprender de manera integrada cómo los DFI enfrentan los desafíos y contradicciones al intentar trasladar la modelización a sus diseños didácticos y a la enseñanza de las ciencias.

En sintonía con Hernández Sampieri et al. (2018) y Flick (2004), se realizó la triangulación, iniciando por la metodológica, que incluyó triangulación de fuentes como los cuestionarios escritos (adaptación de Soto Alvarado, 2019), diseños de Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) elaboradas por los DFI y observaciones e intercambios grupales en el desarrollo de la SEA. La triangulación de técnicas involucró la codificación cualitativa (abierta, axial y selectiva) de las respuestas al cuestionario, el análisis documental de las ocho SEA diseñadas por los DFI, atendiendo a la coherencia con el ciclo de modelización (Couso, 2020; Gilbert y Justi, 2016) y la comparación con referentes teóricos sobre argumentación científica, alfabetización científica y prácticas de modelización (Osborne y Dillon, 2008; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). La Triangulación analítica se realizó con la contrastación de evidencias sobre las dificultades, contradicciones y desafíos que enfrentan los futuros docentes al incorporar la

modelización en contextos escolares, la Identificación de categorías de (tensiones didácticas) emergentes y de su impacto en el aprendizaje (Ratcliffe y Grace, 2003)

Este proceso permitió validar las tensiones detectadas, al cruzar los hallazgos de la experiencia vivida en la SEA con la mirada de los DFI al diseñar y reflexionar sobre sus propuestas didácticas.

Los resultados evidencian algunas tensiones al implementar las prácticas de modelización científica en contextos reales de formación docente, poniendo de manifiesto, *el rol del contexto*, entendida como la forma en que se desarrollan las sesiones, las dinámicas institucionales y las exigencias curriculares inciden directamente en la rapidez y la coherencia con que se adoptan las fases del ciclo de modelización.

Por otro lado, las expectativas vs. la realidad ya que, aunque los DFI reconocen la importancia de la modelización, persisten prácticas tradicionales que enfatizan la calificación y la simple presentación de contenidos. Así mismo —en la relevancia de la motivación— el uso de recursos visuales y actividades lúdicas resulta muy valioso en el proceso de aprendizaje; sin embargo, su eficacia disminuye si no están integrados en una secuencia lógica que desarrolle la explicación científica. En congruencia, para resolver o atenuar las tensiones, se requiere una guía metodológica más sólida, tiempos de práctica reflexiva, espacios de planificación y retroalimentación.

Al centrarse en este *caso particular*, se puede evidenciar cómo las tensiones didácticas se manifiestan y condicionan la calidad del aprendizaje científico en un escenario real, ofreciendo valiosas lecciones para la formación inicial de docentes.

### **Tensiones didácticas emergentes**

A continuación, se exponen los principales resultados relacionados con las tensiones didácticas que surgieron durante la implementación y el diseño de prácticas basadas en la modelización. Se han organizado en categorías analíticas y se destaca el impacto en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

### **Tensión entre lo visual y atractivo vs. la profundización conceptual**

Teniendo en cuenta las respuestas al cuestionario (pregunta 1), se evidencia la alta valoración de los recursos *visual-narrativos*, como cómic, dibujos y videos, para introducir el concepto de energía e impacto ambiental. Estos recursos son considerados como *llamativos*, *agradables* y muy útiles para una comprensión inicial del fenómeno que se está abordando. No obstante, Los DFI enfrentan el desafío de mantener la motivación del estudiante, sin sacrificar el rigor conceptual. La preferencia por recursos atractivos podría desplazar o debilitar la elaboración teórica, por ejemplo, discutir la conservación y transformación de la energía o el ciclo del agua en términos científicos.

De los anteriores planteamientos se deduce, que los estudiantes que aborden la práctica de modelización corren el riesgo de quedarse en la superficialidad, al no profundizar en los fundamentos científicos. Por lo tanto, se hace necesaria una estrategia didáctica equilibrada que combine lo motivacional con la explicitación progresiva de los modelos científicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la motivación inicial es esencial para enganchar a los estudiantes (Acevedo, 2009), pero se requiere un andamiaje que conecte estos recursos con la exploración de modelos científicos más rigurosos (Gilbert y Justi, 2016). Sin la vinculación progresiva de explicaciones y fundamentos científicos, los estudiantes podrían quedarse en una visión “anecdótica” de las problemáticas socio-ambientales (Osborne, 2014).

### **Tensión entre la rapidez de la secuencia y la necesidad de asimilación paulatina de los modelos.**

En la pregunta 2 del cuestionario, varios DFI consideraron que la SEA modelizadora requiere el tiempo suficiente para abordarse, de lo contrario dificulta la asimilación del contenido y la transición lógica entre las fases de la modelización.

En la experiencia vivida por los participantes, se resaltó la falta de tiempo para realizar conexiones, por ejemplo, profundizar en las energías fósiles antes de debatir su impacto).

La presión por cubrir distintas fases de la modelización (reconocer, expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar) en pocos encuentros genera una ejecución apresurada. Se reduce la oportunidad de hacer varias preguntas, debatir y revisar los modelos, fases clave para la apropiación conceptual. Con mayor tiempo en cada fase, se puede fortalecer la comprensión y la calidad de la argumentación. Las SEA abordadas con poco tiempo, restringen la meta-reflexión y el aprendizaje auténtico, pues los estudiantes pueden ver la secuencia como una sucesión rápida de actividades. El ciclo de modelización exige espacios para la reflexión y la argumentación (Couso, 2020; Schwarz et al., 2009).

Una implementación apresurada limita la discusión profunda de cada fase, afectando la meta-reflexión y la calidad de la construcción conceptual (Duschl y Bybee, 2014). El aprendizaje auténtico de la modelización requiere tiempo para la retroalimentación y la reformulación de los modelos, de forma que la comprensión se desarrolle de manera iterativa (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012)

### **Tensión entre el uso de recursos contextuales y la falta de profundización en referentes científicos**

Varios DFI, tanto en las respuestas a los cuestionarios como en el diseño de sus SEA, incorporan ejemplos de la vida real como noticias, casos locales y cosmovisiones indígenas, entre otros. Sin embargo, se advierte que en algunos casos la discusión científica como principios, leyes y teorías queda subordinada a la problemática ambiental o social, sin articularse del todo. Hecha la observación anterior, existe un genuino interés por contextualizar, pero no siempre se elaboran los fundamentos conceptuales de forma clara, por ejemplo, por qué el *fracking* afecta la matriz energética o cómo se relaciona con la termodinámica. Por tanto, la atención se centra en la dimensión socio-ambiental, descuidando la explicación rigurosa.

En efecto, los participantes, puede adquirir una visión empírica o anecdótica de los fenómenos, sin afianzar principios científicos sólidos. Lo que disminuye que se pueda transferir lo aprendido a otros contextos o problemáticas. Contextualizar el aprendizaje es clave para la

alfabetización científica (Millar y Osborne, 1998), pero se requiere balancear la dimensión social con la rigurosidad conceptual (López-Simó y Couso, 2022). Una amplia orientación a lo empírico o anecdótico puede obstaculizar la transferencia de los modelos científicos a otras situaciones (Taber, 2014).

### **Tensión entre la búsqueda de actividades motivadoras y la coherencia con la secuencia de modelización**

De las preguntas 3 y 4 se puede inferir que los DFI eligen actividades por su capacidad de motivar como los videos, cómics, debates y juegos, priorizando la practicidad y el interés de los alumnos. El análisis de las ocho SEA pone en evidencia que, si bien hay un reconocimiento general del *ciclo de modelización*, no siempre se mantiene la lógica progresiva de cada fase. Ante la situación planteada, incorporar numerosas actividades atractivas puede disminuir la coherencia entre expresar, evaluar y revisar el modelo y, por ende, existe un riesgo de planificar una suma de buenas ideas sin un hilo conductor anclado en la modelización sistemática.

Lo anterior, puede conllevar a que el aprendizaje se fragmente y el proceso de construcción de modelos se desdibuje. Generando que el estudiantado podría no entender el propósito global de cada actividad ni cómo se relaciona con la evolución conceptual.

Para que la modelización funcione como práctica científica, las actividades deben integrarse alrededor de la evolución y revisión de un modelo (Gilbert, 2004). Diseños muy dispersos pueden fragmentar el aprendizaje, reduciendo la comprensión sistémica del fenómeno (Clement, 2000).

### **Tensión entre la intencionalidad formativa y la evaluación centrada en la calificación**

Al revisar las SEA, algunos DFI proponen rúbricas, matrices de evaluación y/o estrategias lúdicas para valorar la construcción de modelos. Sin embargo, en la práctica, puede prevalecer una evaluación sumativa, que generalmente conlleva a una puntuación o nota final sobre la exposición, con menor énfasis en la retroalimentación continua.

El deseo de usar evaluación formativa, en algunas oportunidades se ve afectada por la exigencia institucional de valorar con puntuaciones, lo que pone de relieve que falta mayor desarrollo de auto y coevaluación durante las fases de modelización. Teniendo en cuenta lo anterior, se pierde la oportunidad de ajustar y mejorar el modelo a lo largo del proceso, ya que el estudiantado se focaliza en cumplir la actividad para la nota en lugar de profundizar en su comprensión y argumentación.

La evaluación formativa es crucial para apoyar la revisión y perfeccionamiento de los modelos (Braaten y Windschitl, 2011). Las presiones institucionales por la calificación a menudo desplazan el aprendizaje profundo, generando tensiones entre *cumplir* y *comprender* (Soto Alvarado, 2019).

### **Tensión entre la promoción de la discusión científica y las habilidades para argumentar con evidencia**

Los debates y foros son muy apreciados por los DFI, pues permiten la colaboración y la reflexión colectiva. No obstante, se observa que las discusiones a menudo se mantienen en el plano de las opiniones sin un andamiaje que fomente la argumentación como uso de datos, referencias a teorías o resultados de investigaciones.

No obstante, la intención de generar espacios dialógicos choca con la falta de preparación para guiar la discusión hacia la construcción de conclusiones científicas. Se corre el riesgo de intercambiar opiniones sin llegar a consensos o explicaciones basadas en evidencia (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008).

Los DFI no siempre proveen fuentes de información o datos cuantitativos para sostener los argumentos. Lo que puede provocar que el estudiantado tienda a intercambiar puntos de vista sin avanzar hacia explicaciones o consensos fundamentados. Generando una débil competencia argumentativa, esencial en los contextos socio-científicos contemporáneos. Fomentar la argumentación científica requiere planificar la búsqueda y el análisis de evidencias (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012), no solo la expresión de posturas personales. La “discusión” debe

orientarse a contrastar modelos, hipótesis y datos, reforzando así la alfabetización científica y ciudadana (Zeidler y Keefer, 2003).

### 5.3. Hallazgos relacionados con el objetivo específico no. 3

El análisis de las ocho Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) diseñadas por los docentes en formación inicial (DFI) permite valorar el grado de incorporación de las competencias modelizadoras en sus propuestas didácticas centradas en la enseñanza de la energía. A través de una estrategia de análisis que combinó codificación cualitativa, aplicación de una rúbrica evaluativa y análisis estadístico descriptivo, se identificaron cinco categorías emergentes y una caracterización por niveles de apropiación de cinco componentes clave de la competencia modelizadora: construcción, uso, comparación, revisión de modelos y meta-conocimiento (Schwarz et al., 2009; Chiu Y Lin, 2019; Nicolaou Y Constantinou, 2014).

**Enfoque de modelización y diseño didáctico:** Esta categoría reunió los elementos que evidencian el reconocimiento de las fases del ciclo de modelización en el diseño de las SEA. En términos cuantitativos, todos los DFI incorporaron algún nivel de **construcción de modelos** (media = 2.5), y el 50% alcanzó un nivel avanzado (3). Las propuestas incluyen esquemas, diagramas conceptuales o actividades iniciales orientadas a representar procesos energéticos (Gilbert Y Justi, 2016).

Desde lo cualitativo, algunos DFI (1, 2, 6) mencionan explícitamente el ciclo de modelización propuesto por Couso, mientras que otros lo aplican parcialmente, focalizando en la representación inicial del fenómeno sin detallar estrategias para su mejora o contrastación. El uso de referentes teóricos (estándares, literatura especializada) aparece con frecuencia, aunque no siempre se traduce en prácticas pedagógicas efectivas (López-Simó Y Couso, 2022; Soto Y Couso, 2023).

**Metodologías activas y recursos de aula:** Los DFI mostraron una tendencia a emplear metodologías activas, como experimentos, juegos de roles, simuladores digitales y entornos virtuales. Estas estrategias contribuyeron al desarrollo del componente **uso de modelos** (media

= 2.0), con un 50% de las SEA en nivel intermedio o avanzado. La utilización de herramientas como PhET, Stellarium o Landscape permitió enriquecer la experiencia de modelización.

No obstante, se identificó que en varios casos la actividad experimental se plantea como un recurso motivador más que como una oportunidad para formular predicciones, analizar resultados y retroalimentar modelos. Solo algunos diseños (como los de DFI2 y DFI6) establecen un vínculo explícito entre la observación empírica y la revisión del modelo utilizado, como se ha sugerido en trabajos previos (Treagust et al., 2002; Braaten Y Windschitl, 2011).

**Contextualización y conexión con el entorno:** Esta categoría agrupa las estrategias que vinculan la enseñanza de la energía con situaciones reales o del entorno cercano. Aunque estas actividades fortalecen la relevancia sociocientífica de las propuestas, no siempre se integran a un proceso completo de modelización. Desde el enfoque cuantitativo, el componente **comparación de modelos** presentó una media baja (0.75), con un 37.5% de propuestas en nivel nulo (0) y otro 37.5% en nivel incipiente (1).

A nivel cualitativo, se destaca la intención de problematizar el uso de la energía en el contexto local, abordar cuestiones ambientales y promover el análisis de decisiones colectivas sobre sostenibilidad. Sin embargo, estas reflexiones no se traducen sistemáticamente en la confrontación de diferentes modelos científicos o en el análisis crítico de representaciones alternativas (Aragón-Méndez Y Oliva, 2019b; Ratcliffe Y Grace, 2003; Millar Y Osborne, 1998).

**Competencias ciudadanas y valores ambientales:** Los DFI incluyeron componentes orientados a la formación ética y ciudadana, tales como el análisis del impacto humano sobre el ambiente, los derechos y deberes energéticos, y el pensamiento crítico. Esta dimensión se conecta parcialmente con el desarrollo del **meta-conocimiento**, cuyo valor medio fue de 1.5. Aunque cinco de los ocho DFI alcanzan un nivel incipiente, solo tres propuestas superan ese umbral.

Los hallazgos muestran que se reconoce la necesidad de formar estudiantes reflexivos y responsables, pero se requieren estrategias pedagógicas más estructuradas para que los

estudiantes comprendan el rol de los modelos en la ciencia, analicen sus decisiones y reconozcan las limitaciones de sus representaciones (Constantinou et al., 2019; Erduran Y Jiménez-Aleixandre, 2008; Acevedo, 2009).

**Evaluación y reflexión sobre el aprendizaje:** Se identificó un uso frecuente de rúbricas, matrices de evaluación, autoevaluaciones y juegos de consolidación. Sin embargo, el componente **revisión de modelos** fue uno de los más débiles (media = 0.75), con la mitad de las SEA en nivel incipiente o nulo. Si bien se incluyen actividades de cierre, estas no siempre promueven la modificación argumentada de los modelos iniciales.

Las estrategias evaluativas tienden a centrarse en verificar contenidos aprendidos, sin profundizar en cómo cambió la comprensión del estudiante respecto al fenómeno modelizado. Solo algunas propuestas (DFI2, DFI4) integran mecanismos de retroalimentación y evolución de modelos. La literatura enfatiza que la revisión es una fase clave para desarrollar una visión dinámica y crítica de la ciencia (Braaten Y Windschitl, 2011; Schwarz et al., 2009).

#### **Categoría uno: enfoque de modelización y diseño didáctico**

Varias propuestas de las SEA (DFI1, DFI2, DFI6) reconocen la importancia del ciclo de modelización, mencionando de forma explícita las fases de reconocer, expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar. Otros DFI (DFI5, DFI3) presentan secuencias estructuradas, aunque se observa una mención menos sistemática de las fases del ciclo; en algunos casos, se reduce a la introducción de un modelo inicial y su uso para explicar el fenómeno, sin detallar claramente la revisión o comparación con otros modelos. El *uso de referentes teóricos* (Couso, López-Simó, estándares de competencia, etc.) está presente en la mayoría de SEA, lo cual muestra un intento de fundamentar la propuesta didáctica en marcos actualizados de la enseñanza de la energía.

La mención al ciclo de modelización indica un avance significativo en la conciencia de los DFI acerca de la necesidad de integrar diferentes fases en la enseñanza de las ciencias (Schwarz et al., 2009). Sin embargo, en la práctica, se aprecia una implementación parcial. Por ejemplo, la *construcción y uso de modelos* se aborda de manera relativamente consistente, pero la *revisión*

y *comparación* (dos fases fundamentales para refinar la comprensión y evidenciar la naturaleza provisional de los modelos) (Chiu y Lin, 2019b), tienden a no ser evidentes. Esto sugiere que, si bien el diseño didáctico parte de un reconocimiento teórico de la modelización, hace falta mayor articulación de las fases en actividades concretas.

La adopción de referentes teóricos demuestra que los DFI buscan un respaldo conceptual para sus propuestas, que se alinea con el enfoque de enseñanza de la energía propuesto por Couso y López-Simó. No obstante, la referencia a la literatura no siempre se traduce en una instrumentación clara de las prácticas modelizadoras: se cita a los autores, pero no siempre se describen con precisión las acciones en aula que llevarían al alumnado a construir, confrontar y perfeccionar modelos de energía.

#### **Categoría dos: metodologías activas y recursos de aula**

Se observa una tendencia hacia la implementación de *actividades* experimentales (DFI3, DFI2) como punto de partida para explorar el concepto de energía como el péndulo, cambio de estado del agua, entre otros. El uso de simuladores y entornos virtuales (DFI1, DFI2) es otro aspecto relevante, con mención de *PhET*, *Stellarium* o *Landscape*, proponiéndose experiencias de inmersión y visualización que faciliten la exploración de modelos energéticos. Algunos DFI plantean juegos de rol y otras dinámicas lúdicas (DFI6, DFI8) para promover la reflexión sobre la transición energética y la sostenibilidad.

La presencia de metodologías activas refleja un interés genuino por involucrar al estudiante en la construcción de su propio conocimiento, coherente con la didáctica de las ciencias basada en la modelización. En las prácticas modelizadoras, la experimentación y el uso de simuladores pueden contribuir al proceso de construcción y uso de modelos, al permitir a los estudiantes observar fenómenos y formular hipótesis que luego son integradas en representaciones. No obstante, se identifica un reto a la hora de ir más allá de la simple exhibición de fenómenos (Treagust et al., 2002). La actividad experimental o la simulación deben conectarse explícitamente con la evaluación y revisión de los modelos propuestos, de modo que los

estudiantes no solo vean o jueguen, sino que reflexionen críticamente acerca de la validez o las limitaciones de sus modelos iniciales. En algunos diseños (DFI2, DFI6), sí se menciona un paso de discusión post-experiencia, pero no se explicita cómo se retroalimenta el modelo en construcción.

### **Categoría tres: contextualización y conexión con el entorno**

Algunos DFI (DFI5, DFI3) proponen vincular el tema de la energía con situaciones del contexto local, como la observación de recursos energéticos en la ciudad o el campo, y la identificación de tecnologías cotidianas que transforman energía. Otros participantes (DFI4, DFI8) prioriza problemas ambientales e intervención humana, discutiendo el impacto en ecosistemas y cadenas tróficas, así como la contaminación y la deforestación. Se enfatiza la transición energética y sostenibilidad, como los (DFI1, DFI2), con propuestas de reflexión sobre energías limpias, fósiles y la toma de decisiones colectivas.

La contextualización constituye un paso fundamental en la enseñanza con enfoque en modelización (Ratcliffe y Grace, 2003; Millar y Osborne, 1998), pues los modelos científicos parten de problemas o preguntas relevantes para el estudiantado (Aragón-Méndez y Oliva, 2019b). En esta línea, los DFI demuestran sensibilidad hacia problemas locales y globales, lo que podría favorecer la motivación y la apropiación del aprendizaje. Sin embargo, desde la perspectiva de las competencias modelizadoras, el siguiente desafío se convierte en lograr que estas situaciones contextuales no se queden en ejemplos ilustrativos, sino que se integren en un proceso de modelización.

Algunos DFI, como DFI4 y DFI8, sugieren actividades de discusión y *noticieros ambientales*, lo cual puede potencialmente detonar debates sobre la coherencia de los modelos con la complejidad real del ambiente. Ante la situación planteada, es necesario reforzar el uso de tales contextos para fortalecer la evolución de los modelos (revisión, comparación y mejoramiento).

### **Categoría cuatro: competencias ciudadanas y valores ambientales**

Se identifican múltiples referencias a favor de la responsabilidad y participación ciudadana (DFI7, DFI4), propendiendo un uso eficiente de la energía y el análisis de los efectos de la intervención humana. En efecto, se promueve el trabajo colaborativo y pensamiento crítico (DFI3, DFI2, DFI7) como valores transversales.

La educación en Ciencias desde un enfoque de modelización no solo pretende el desarrollo de habilidades cognitivas, sino también el fomento de actitudes y valores orientados a la sostenibilidad y la ciudadanía (Constantinou et al., 2019). El énfasis que ponen varios DFI en la formación crítica y responsable es coherente con las últimas tendencias de la didáctica de las ciencias, que buscan involucrar al estudiantado en la toma de decisiones fundamentadas sobre temas socio-científicos (Acevedo, 2009). Cabe señalar que, para que esta formación ciudadana sea plenamente significativa, los valores y principios ambientales deben articularse con la revisión conceptual a través de modelos científicos. Es decir, no se trata solo de recomendar buenas prácticas energéticas, sino de comprender, mediante la modelización, por qué y cómo ciertos procesos energéticos impactan el entorno (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008).

En algunas SEA se contempla la posibilidad de conectar las fases de modelización con debates sobre *fracking* o calentamiento global, lo cual sería un paso valioso para el desarrollo de competencias ciudadanas fundamentadas en la comprensión científica.

### **Valoración de las SEA desde las competencias modelizadoras**

A la luz de los componentes de las competencias modelizadoras (Chiu Y Lin, 2019; Nicolaou Y Constantinou, 2014), se puede inferir lo siguiente a partir del análisis de las ocho Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) diseñadas por los docentes en formación:

**Construcción de modelos:** Este componente presenta una incorporación destacada en las propuestas analizadas. El 100% de las SEA incluye al menos una representación inicial del fenómeno, y el 50% alcanza un nivel avanzado (valor 3), con una media de 2.5 sobre 3. Las actividades abarcan esquemas, modelos gráficos, representaciones conceptuales o

experimentales relacionados con la energía. No obstante, en varias propuestas la representación se limita a un único formato, sin explorar distintas formas modelizadoras (por ejemplo, visual, analógica o matemática), lo cual restringe el desarrollo de una comprensión más amplia sobre la diversidad y funcionalidad de los modelos científicos.

**Uso de modelos:** Este componente aparece con una media de 2.0, lo que indica una presencia intermedia. En el 75% de las SEA, los modelos son utilizados por los estudiantes para explicar fenómenos observados, principalmente mediante experimentos o simulaciones digitales (como PhET o Stellarium). Sin embargo, solo en el 25% de los casos se logra un nivel avanzado, lo que refleja la necesidad de fortalecer la formulación de predicciones y el análisis del grado de ajuste entre lo predicho por el modelo y lo observado experimentalmente (Gilbert Y Justi, 2016).

**Comparación de modelos:** Este componente presenta el nivel más bajo de apropiación. El 37.5% de las SEA no incorpora ninguna estrategia de comparación, y otro 37.5% lo hace de forma incipiente. La media obtenida fue de 0.75, lo cual evidencia que, aunque algunos docentes en formación mencionan actividades de discusión o contraste de ideas, estas no se estructuran en torno a modelos científicos alternativos, como sería el caso de comparar modelos clásicos con propuestas contemporáneas en el campo energético (Schwarz et al., 2009). Esta limitación afecta la comprensión de la naturaleza provisional y contextual de los modelos científicos (Jiménez-Aleixandre Y Puig, 2012).

**Revisión y refinamiento de modelos:** La media de este componente también fue de 0.75, y el 62.5% de las propuestas se ubica en niveles nulo o incipiente. En varias secuencias no se incluye una actividad explícita que invite al estudiante a revisar y mejorar su modelo inicial a partir de nueva evidencia o retroalimentación. Esta omisión dificulta el desarrollo de una visión dinámica de la ciencia y del carácter perfectible del conocimiento científico, que son centrales en las competencias modelizadoras.

**Meta-conocimiento (epistemológico y metacognitivo):** Este componente alcanza una media de 1.5, con el 62.5% de las SEA en nivel incipiente. Aunque algunos diseños reconocen la importancia de la reflexión, no siempre proponen mecanismos pedagógicos específicos —como diarios de modelización, rúbricas reflexivas o espacios de diálogo argumentativo— que permitan a los estudiantes analizar críticamente sus decisiones al construir o utilizar modelos. Tampoco se profundiza en la discusión sobre qué es un modelo y cuál es su relación con la realidad, aspectos esenciales del conocimiento epistemológico (Couso, 2020).

Sobre la base de las consideraciones anteriores, la coherencia general con los principios de la modelización es buena en la fase de diseño e intencionalidad, pero su implementación práctica revela carencias en las etapas de comparación y revisión de modelos, así como en la explicitación del meta-conocimiento.

#### **5.4. Propuesta de criterios orientadores**

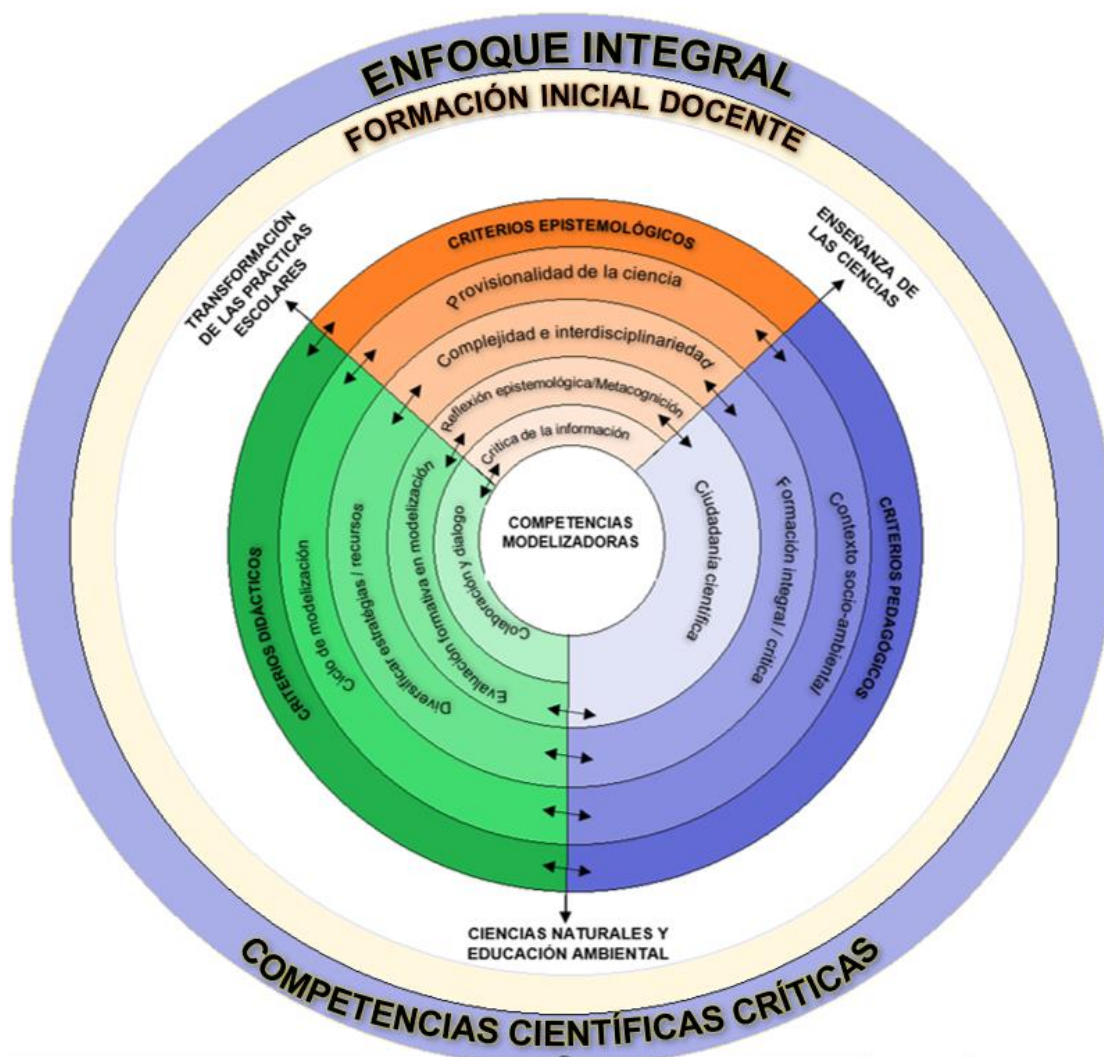
Los hallazgos de esta investigación permiten proponer un conjunto de criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos, que se sustentan en las tendencias actuales de la formación de profesores de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, particularmente en aquellas que conciben la enseñanza de las ciencias como un proceso que integra de manera sistémica la comprensión conceptual y la responsabilidad ambiental en un contexto de creciente diversidad (Acevedo, 2009; Adúriz-Bravo, 2014; Osborne y Dillon, 2008). En este sentido, la modelización y específicamente las competencias modelizadoras, se consolidan como una estrategia didáctica que no solo promueve la sola adquisición de conocimientos científicos, sino que también favorece el desarrollo de capacidades para la reflexión, el pensamiento crítico, la argumentación y la toma de decisiones frente a problemas socio-ambientales y energéticos (Gilbert y Justi, 2016; Sadler, 2004).

De acuerdo con la literatura, la enseñanza de las ciencias basada en modelos ofrece oportunidades para comprender la naturaleza dinámica de la ciencia y su carácter de origen provisional (Gilbert, 2004; Jiménez-Aleixandre, 2014). Así mismo, el énfasis en la actividad

modelizadora promueve el trabajo colaborativo y la discusión sustentada de manera argumental, conceptual y teórica, aspectos esenciales para la formación de una ciudadanía científicamente alfabetizada (Acevedo, 2009; Ratcliffe y Grace, 2003). A continuación, (ver figura 45) se presentan los criterios propuestos, organizados en tres dimensiones: pedagógica, didáctica y epistemológica, con la finalidad de articular la formación integral del futuro docente con los requerimientos propios de la educación científica contemporánea.

### Figura 45

Esquema de criterios orientadores para la formación inicial docente.



Fuente: Elaboración propia

Los criterios presentados en el esquema y que se desglosan posteriormente, emergen efectivamente como un marco orientador para la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, al integrar tres planos fundamentales para la educación y que demanda la complejidad de las problemáticas actuales (Acevedo, 2009; Sadler, 2004). Desde la contextualización socio-ambiental hasta la adopción de una mirada crítica de la información, estos lineamientos refuerzan la necesidad de formar profesionales capaces de vincular el aprendizaje científico con la realidad social y los desafíos globales. Con ello, se sientan las bases para una educación científica transformadora que, a través de la modelización, potencie la construcción de ciudadanía y la responsabilidad ambiental (Adúriz-Bravo, 2014; Gilbert y Justi, 2016).

#### **5.4.1. Criterios Pedagógicos**

*Contextualización socio-ambiental del aprendizaje:* la relevancia de ubicar los fenómenos científicos en problemáticas reales, como el *fracking* o las energías renovables, ha sido reconocida como un factor clave para la formación de la conciencia, el conocimiento ambiental y la responsabilidad ciudadana (Hodson, 2010; Vesterinen, Tolppanen y Aksela, 2016). Desde esta perspectiva, la modelización vinculada a casos concretos y controversias socio-científicas impulsa la comprensión de la interrelación entre ciencia, sociedad y ambiente, a la vez que fomenta actitudes éticas y ecológicas (Acevedo, 2009). Es importante destacar que en la educación en ciencias se cuenta con gran diversidad de fenómenos y situaciones que se pueden abordar desde esta perspectiva.

*Formación integral y crítica:* para que los docentes en formación inicial, puedan asumir posturas fundamentadas frente a controversias que abordan aspectos políticos, económicos y ecológicos, se requiere una visión integradora de los aspectos científicos, históricos y culturales (Ratcliffe y Grace, 2003; Sadler, 2004). La capacidad de análisis crítico se enriquece cuando el trabajo con modelos científicos se une a la reflexión sobre sus implicaciones sociales y

medioambientales, ampliando el enfoque educativo más allá de la sola transmisión de contenidos (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012).

*Énfasis en la construcción de ciudadanía científica:* orientar la enseñanza hacia la toma de decisiones informadas y éticas, este punto reconoce la ciencia como un proceso con consecuencias sociales y ambientales, que logre estimular la participación activa en actividades que impliquen reconocer la ciencia como un proceso social y éticamente comprometido (Pedretti, 2012; Zeidler y Keefer, 2003). En este sentido, la modelización contribuye a la alfabetización científica al permitir que los futuros docentes desarrollen y promuevan habilidades argumentativas, esenciales para una ciudadanía informada y responsable (Osborne, 2014).

#### **5.4.2. Criterios didácticos**

*Estructuración cíclica de la modelización:* diversos estudios resaltan la importancia de que los profesores en formación experimenten y diseñen secuencias de enseñanza y aprendizaje con un ciclo iterativo de modelización explícito que incluya las fases de construcción, comparación, revisión y aplicación de modelos, reflejando el carácter provisional y progresivo del conocimiento científico (Gilbert y Justi, 2016; Clement, 2000). Al diseñar secuencias didácticas con fases explícitas de modelización, se favorece la capacidad de reflexionar y mejorar permanentemente las propias explicaciones de los fenómenos (Adúriz-Bravo, 2014).

*Diversificación de estrategias y recursos:* el empleo de metodologías activas, recursos experimentales y herramientas digitales (simuladores y laboratorios virtuales) favorece la motivación y facilita la comprensión de conceptos complejos (Wallace y Loudon, 2000; Gutiérrez, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2015). Al lograr combinar actividades prácticas con espacios de análisis y discusión, se promueve una aproximación equilibrada entre la experimentación y la fundamentación teórica (Banchi y Bell, 2008).

*Evaluación formativa enfocada en procesos modelizadores:* una evaluación que enfatice la construcción, revisión y contrastación de modelos exige diseñar instrumentos específicos, como rúbricas y guías de observación, que visibilicen tanto la calidad conceptual como la solidez

argumentativa y el uso de evidencias (Jiménez-Aleixandre, 2014). La retroalimentación de manera continua, que incluye autoevaluación y coevaluación, refuerza la reflexión sobre los límites y potencialidades de los modelos utilizados (Braaten y Windschitl, 2011).

*Integración de la dimensión colaborativa y dialógica:* las estrategias de discusión grupal, el diálogo argumentado, crítico y fundamentado y la confrontación de ideas constituyen ejes centrales en la construcción colectiva de conocimiento científico (Mortimer y Scott, 2003). Así, al exponer y discutir diferentes modelos o explicaciones, se promueve el desarrollo de la argumentación basada en evidencias y el enriquecimiento mutuo de las concepciones de los futuros docentes (Osborne, 2014).

### **5.4.3 Criterios epistemológicos**

*Comprensión de la naturaleza provisional de la ciencia:* los modelos científicos deben entenderse como representaciones tentativas y sujetas a cambios ante nuevas evidencias (Duschl, 2008; Gilbert, 2004). Este entendimiento es vital para que los futuros docentes reconozcan el carácter dinámico del conocimiento científico y, en consecuencia, estimulen en sus estudiantes la oportunidad al cambio conceptual y la actitud crítica (Acevedo, 2009).

*Reconocimiento de la complejidad y la interdisciplinariedad:* los fenómenos ambientales y energéticos, como el cambio climático o el manejo de recursos naturales, demandan una mirada interdisciplinar que incluya aportes de disciplinas como Física, Química, Biología, Geología, Economía o Sociología (Hodson, 2010; Vesterinen et al., 2016). La construcción de modelos integrados permite abordar la multiplicidad y versatilidad de variables en juego, así como sus relaciones causales y los posibles impactos en distintos ámbitos (Fourez, 1997).

*Desarrollo de la metacognición y la reflexión epistemológica:* promover en los futuros docentes la pregunta “¿Qué es un modelo en ciencia y en educación?” posibilita un ejercicio de metacognición que fortalece la comprensión de las propias estrategias de enseñanza y aprendizaje (Gutiérrez et al., 2015; Adúriz-Bravo, 2014). Además, la reflexión sobre la calidad,

validez y alcance de los modelos fomenta la construcción de un conocimiento didáctico y epistemológico más sólido (Gilbert y Justi, 2016).

*Adopción de un enfoque crítico de la información:* en un contexto en el que abundan los datos y contenidos, la distinción entre información respaldada por evidencia científica y afirmaciones sin fundamento requiere un desarrollo sistemático de la habilidad de evaluación y análisis crítico (Hodson, 2010). Fomentar la verificación empírica y la discusión fundamentada contribuye no solo a la ética en el uso de la información, sino que también a la formación de un profesorado capaz de guiar a sus estudiantes en la evaluación responsable de fuentes y argumentos (Osborne, 2014; Zeidler y Keefer, 2003).

En suma, la formulación de estos criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos ofrece un horizonte transformador para la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, al establecer las condiciones idóneas para que el profesorado aborde las prácticas modelizadoras con rigor científico y conciencia socioambiental (Adúriz-Bravo, 2014; Gilbert y Justi, 2016). Al diseñar Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) basadas en la construcción, revisión y aplicación de modelos, los futuros educadores no solo se apropian de un conocimiento científico más fuerte, sino que desarrollan una visión crítica y ética frente a las problemáticas contemporáneas como el *fracking* o la transición energética (Acevedo, 2009; Sadler, 2004). Dicho enfoque estimula la colaboración, la metacognición y la toma de decisiones fundamentadas, configurando ambientes de aprendizaje que potencian la alfabetización científica y forjan una ciudadanía capaz de comprender y actuar responsablemente frente a los desafíos globales (Osborne y Dillon, 2008). Así, los criterios aquí propuestos se erigen en una herramienta esencial para guiar a los nuevos docentes en la creación de experiencias de modelización significativas, apuntalando una educación científica reflexiva, comprometida y socialmente pertinente.

## **Capítulo 6. Conclusiones**

### **6.1 Conclusión en torno a la pregunta problema**

La pregunta que guio esta investigación se responde con la propuesta de criterios pedagógicos, didácticos y epistemológicos. Estos promueven la integración de la contextualización socioambiental con la construcción y revisión cíclica de modelos científicos. Dichos criterios reafirman la necesidad de un abordaje que combine el rigor conceptual con la responsabilidad ciudadana, para enfrentar temas complejos y que definen el escenario actual de la educación científica (Acevedo, 2009; Adúriz-Bravo, 2014; Sadler, 2004).

En este sentido, la articulación de las fases de modelización, reconocer, expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar, resulta determinante para garantizar experiencias formativas auténticas, que permitan a los futuros docentes vivenciar la naturaleza dinámica y provisional del conocimiento (Gilbert Y Justi, 2016; Schwarz et al., 2009). La metacognición y la reflexión epistemológica, a su vez, constituyen el eje transversal que potencia la lectura crítica de los modelos y el acierto de sus alcances y límites, fomentando en los DFI la capacidad de guiar a su alumnado en la evaluación responsable de las explicaciones científicas (Osborne Y Dillon, 2008; Jiménez-Aleixandre Y Puig, 2012).

Por otro lado, el uso equilibrado de recursos motivadores como lo son cómics, simuladores o experimentos, con una profundidad conceptual y argumentativa adecuada, evita la superficialidad y consolida la relación entre teoría, evidencia científica y ética (Ratcliffe Y Grace, 2003; Banchi Y Bell, 2008). Esta visión de la evaluación formativa centrada en la calidad de los procesos modelizadores orienta el diseño de prácticas donde la retroalimentación no es un solo formalismo, sino una herramienta bastante útil para el refinamiento sistemático de los modelos, la fundamentación teórica y la toma de decisiones informadas (Braaten Y Windschitl, 2011).

Por lo anterior, los criterios orientadores delineados señalan la confluencia entre ciencia y ambiente, la iteración reflexiva del ciclo de modelización y la evaluación continua de la argumentación y validez de los modelos. Se encamina, así, a una formación docente que supere

la transmisión de contenidos y promueva el pensamiento científico crítico, capacitando a los futuros maestros para enfrentar las tensiones y desafíos propios de la educación en ciencias actual.

## **6.2. Conclusiones de acuerdo con los Objetivos Específicos**

### **Conclusiones en relación con el Objetivo Específico uno**

Los resultados evidencian que los DFI progresan parcialmente en las competencias modelizadoras, sobre todo en la representación del fenómeno y la identificación de factores sociales y ambientales (Adúriz-Bravo Y Izquierdo-Aymerich, 2009). No obstante, existen limitaciones en la integración sistémica de componentes geológicos, químicos y biológicos (Hodson, 2010), lo cual dificulta la consolidación de modelos complejos que reflejen la interdisciplinariedad de los problemas energéticos.

Aunque en la interpretación mecanicista se identifican indicios de entendimiento sobre fractura de rocas y contaminación de acuíferos, persiste un déficit de profundidad causal que abarque las reacciones fisicoquímicas involucradas (Gilbert, 2004). Este vacío se relaciona con la tendencia a resaltar los aspectos socioambientales sin consolidar los fundamentos científicos (Sadler, 2004). De forma semejante, en la dimensión predictiva, que resultó ser la menos desarrollada, ya que solo unos pocos DFI proyectan escenarios futuros con base en datos o evidencias empíricas, lo que sugiere la necesidad de fortalecer la lectura de la información especializada y la discusión fundamentada (Osborne, 2014).

Por otro lado, respecto a la metacognición sobre los modelos, se registran algunas manifestaciones de conciencia acerca de la provisionalidad de la ciencia, pero el componente reflexivo se presenta de modo disperso y no sistemático (Jiménez-Aleixandre Y Puig, 2012). Estas conclusiones destacan la urgencia de un diseño formativo que ofrezca tiempos y recursos suficientes para la elaboración progresiva de modelos, así como para la retroalimentación argumentativa y la evaluación crítica de las explicaciones.

### **Conclusiones en relación con el objetivo específico dos**

El análisis de las prácticas y secuencias didácticas diseñadas por los DFI revela seis tensiones clave que marcan la adopción de la modelización. La primera se ubica entre la motivación que generan recursos atractivos como cómics y videos, y la necesidad de asegurar un tratamiento científico amplio (Millar Y Osborne, 1998). La segunda se relaciona con la rapidez de la secuencia frente a la asimilación gradual que se requiere en el ciclo de modelización, evidenciando que las presiones curriculares y de tiempo obstaculizan la reflexión pausada y el perfeccionamiento de los modelos (Couso, 2020).

La tercera se origina en la falta de solidez científica cuando se prioriza la contextualización sociocultural, dificultando el sustento empírico y teórico de las discusiones (Ratcliffe Y Grace, 2003). La cuarta tensión deriva de la incorporación de actividades motivadoras pero sin un hilo conductor claro que respalde la iteración cíclica de la modelización (Schwarz et al., 2009). La quinta surge del enfrentamiento entre la evaluación formativa y la necesidad de calificar, lo que reduce la oportunidad de una retroalimentación continua (Braaten Y Windschitl, 2011). La última tensión surge entre la invitación al debate y la argumentación con datos, pues se valoran discusiones sin proveer de evidencia empírica suficiente, lo que merma la calidad de la argumentación (Erduran Y Jiménez-Aleixandre, 2008).

Estas tensiones resaltan cómo la modelización no es un proceso lineal ni exento de contradicciones, sino que exige acompañamiento didáctico, orientaciones y estructuras curriculares claras que permitan equilibrar la motivación estudiantil con la exploración científica rigurosa, y la formación ciudadana con el dominio conceptual (Osborne Y Dillon, 2008).

### **Conclusiones en relación con el objetivo específico tres**

La revisión de los diseños de Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) revela una incorporación parcial y fragmentada de los principios de la modelización, a pesar de que la mayoría de los DFI reconoce los pasos teóricos del ciclo (Gilbert Y Justi, 2016). Se suele incluir

la construcción y uso inicial del modelo, pero se omite la comparación y la revisión sistemática, reduciendo el potencial del proceso iterativo (Clement, 2000).

Del mismo modo, la integración de ejemplos reales (contexto local, reflexiones ambientales) respalda la conexión con los aspectos ecológicos y socioeconómicos de los fenómenos, incrementando la conciencia ambiental (Hodson, 2010). Sin embargo, no siempre se traduce en modelos científicos robustos, debido a la escasa verificación empírica y fundamentación teórica (Osborne, 2014). Si bien algunos DFI, que diseñaron las SEAs contemplan rúbricas y estrategias de evaluación, la mayoría se centra en la verificación final del conocimiento, sin un énfasis continuo en el refinamiento progresivo de los modelos y la meta-reflexión (Jiménez-Aleixandre, 2014).

Por ende, la coherencia global con los principios epistemológicos de la modelización demanda un mayor acompañamiento en la fase práctica, la provisión de tiempos y recursos adecuados para la iteración y la comparación de modelos y el fortalecimiento de la evaluación formativa que realce el cambio conceptual, la argumentación y la reflexión epistemológica (Duschl Y Bybee, 2014).

De este modo, estas conclusiones evidencian la pertinencia de guiar a los futuros docentes en una implementación realista y sistemática de la modelización, donde los contenidos científicos, la dimensión ambiental y las competencias reflexivas se integren de manera equilibrada, conforme a las exigencias de la educación científica contemporánea (Acevedo, 2009; Adúriz-Bravo, 2014).

### **6.3. Saberes e impacto esperado**

El desarrollo de la presente investigación doctoral titulada: *Criterios orientadores para la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras*. Ha generado un conjunto de saberes que se describen a continuación, los cuales trascienden el plano conceptual y articulan las dimensiones didáctica, epistémica, pedagógica y socio-ambiental de la formación inicial de docentes en Ciencias

Naturales y Educación Ambiental. Estos hallazgos se sustentan además, en referentes teóricos de la didáctica de las ciencias y de la modelización, así como en estudios sobre la alfabetización científica (Acevedo, 2009; Couso, 2020; Adúriz-Bravo, 2011; Osborne y Dillon, 2008).

### **Saberes generados**

#### **Comprensión de las competencias modelizadoras en la formación docente**

El estudio permitió caracterizar cómo los DFI de LCNEA, representan, explican y predicen fenómenos complejos, en particular en torno a la problemática energética (*fracking*, energías fósiles y renovables). Alineado con investigaciones anteriores (Schwarz et al., 2009; Papaevripidou et al., 2014a; Chiu y Lin, 2019b), se confirma que la interpretación mecanicista y la reflexión sobre las implicaciones socio-ambientales convergen en una visión sistémica del fenómeno. Este hallazgo es clave, ya que reconoce que la modelización no solo exige la construcción de modelos internos o mentales, sino la conciencia de su carácter dinámico y mejorable, aspecto que se ha mencionado en la literatura (Gilbert y Justi, 2016).

Igualmente, se profundiza en la relevancia de cumplir cada fase que conforma el ciclo del proceso de modelización (Couso, 2020; Schwarz et al., 2009), evidenciando que, si bien la fase inicial (construcción y uso de modelos) se reconoce explícitamente, las fases de comparación y revisión suelen debilitarse en la práctica. Esta verificación coincide con lo señalado por Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009), quienes han resaltado que la enseñanza de las ciencias se fortalece cuando se explicita la naturaleza provisional de los modelos y se promueve su perfeccionamiento iterativo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se percibe la posibilidad de diseñar planes de formación que prioricen la revisión y comparación de modelos, reforzando la visión iterativa del conocimiento científico (Osborne, 2014). Adicionalmente, al enfatizar la importancia de reconocer límites y alcances de los modelos, se refuerza la alfabetización científica enfocada en la ciudadanía crítica (Acevedo, 2009).

### **Articulación didáctica y tensiones emergentes**

En el transcurso de la investigación se identificaron varias tensiones didácticas centrales, en coincidencia con los hallazgos de la literatura sobre las prácticas científicas escolares (Mortimer y Scott, 2003; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012)

1. **Uso de recursos atractivos vs. rigor conceptual:** la motivación inicial que aportan cómics, videos o dinámicas lúdicas puede diluir la profundidad conceptual si no se sostiene con un andamiaje que promueva la argumentación y el modelado en fases sucesivas (Gilbert, 2004).
2. **Presión curricular y de tiempo vs. asimilación pausada de los modelos:** como señalan Duschl y Bybee (2014), la falta de tiempo para debatir y revisar reduce la posibilidad de interiorizar las fases de modelización.
3. **Contextualización sociocultural vs. solidez científica:** la integración de problemáticas reales (*fracking*, energías renovables) estimula la participación crítica, pero a veces se sacrifica la fundamentación científica sistemática (Ratcliffe y Grace, 2003).
4. **Evaluación sumativa vs. retroalimentación formativa:** la cultura evaluativa centrada en la calificación choca con la necesidad de correcciones continuas de los modelos (Braaten y Windschitl, 2011).

Al observar estas tensiones, la investigación brinda lineamientos para un diseño didáctico de mayor coherencia, pues alerta sobre la necesidad de equilibrar recursos motivacionales y exigencias curriculares con la profundización conceptual. Además, sirve como base para proponer estrategias de reflexión epistemológica que hagan explícita la provisionalidad del conocimiento científico y promuevan la retroalimentación formativa, tan valorada en modelos de aprendizaje (Couso, 2020).

### **Integración de la Dimensión Socio-Ambiental**

Uno de los hallazgos que más se destacaron en la investigación, que hace parte de una categoría emergente, es la fuerte sensibilidad que muestran los DFI hacia la problemática socio-

ambiental, algo que confirma la relevancia de la alfabetización científica y ciudadana (Acevedo, 2009; Millar y Osborne, 1998). La modelización se presenta como un puente eficaz entre la comprensión de fenómenos científicos y la reflexión ética, económica y política sobre las implicaciones del uso de la energía. En efecto, la inclusión de aspectos como la sostenibilidad o la toma de decisiones fundamentadas acerca de las energías fósiles y renovables señala la convergencia de la dimensión cognitiva y la dimensión socio-ambiental (Ratcliffe y Grace, 2003).

Se espera que los DFI continúen vinculando los valores ambientales y las competencias ciudadanas con las prácticas de modelización, promoviendo la acción responsable y la resolución de problemáticas socio-científicas. Este eje estimula una conciencia ecológica y una ética de la sostenibilidad, que potencian la pertinencia social de la enseñanza de las ciencias (López-Simó y Couso, 2022).

### **Diseño de Secuencias de Enseñanza Aprendizaje (SEA)**

La investigación aporta saberes específicos sobre la concepción y planificación de secuencias basadas en modelización. Este hallazgo se relaciona con la literatura, ya que hace énfasis en la importancia y utilidad del uso de recursos diversos como cómics, simuladores y experimentos, para iniciar el proceso de construcción de modelos y, a la vez, la importancia de estrategias de evaluación formativa (Mortimer y Scott, 2003; Schwarz et al., 2009).

*Selección de recursos:* las prácticas experimentales y los simuladores tipo PhET facilitan la visualización de procesos científicos, pero requieren un posterior análisis crítico para ajustar los modelos.

*Evaluación formativa:* el uso de rúbricas y espacios de auto/coevaluación refuerza la iteración del proceso de modelización, tal como recomiendan Braaten y Windschitl (2011).

*Anclaje en marcos teóricos:* referencias como Couso (2020) o López-Simó y Couso (2022) respaldan la pertinencia de la modelización en la enseñanza de la energía, ratificando su potencial para desarrollar un pensamiento científico reflexivo.

Los saberes anteriormente descritos, conducen a propuestas curriculares y recomendaciones para la formación inicial de docentes, donde se promueva el uso sistemático de la modelización como estrategia transversal. A su vez, se hace énfasis en la necesidad de que las SEAs incluyan un cierre reflexivo, donde se confronten los modelos con datos empíricos y con la evidencia científica, maximizando la calidad del aprendizaje (Osborne, 2014).

Los saberes generados, relacionados con la comprensión de las competencias modelizadoras, la articulación didáctica, pedagógica, epistemológica y la dimensión socio-ambiental, demuestran que la formación inicial de docentes puede beneficiarse de marcos de modelización que favorezcan tanto la comprensión rigurosa de los fenómenos científicos, como en la reflexión ciudadana sobre las implicaciones de la ciencia en la sociedad. El impacto esperado radica en el diseño de planes formativos y de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje capaces de situar a los futuros docentes en un rol activo, como constructores de modelos y como mediadores de la conciencia ambiental y la responsabilidad social. Teniendo en cuenta lo anterior, se consolida una visión de la educación científica alineada con las necesidades de la educación en ciencias actual, donde la ciencia se enseña no solo como conocimiento técnico, sino como herramienta cultural para transformar la realidad de manera crítica y sostenible.

### **Impacto esperado de la investigación**

La adopción de un enfoque de competencias modelizadoras en la formación inicial de docentes de Ciencias Naturales y Educación Ambiental supone un impacto múltiple, ya que puede aportar en la formación universitaria, en la dinámica de las aulas de ciencias y en la comunidad educativa a diferentes escalas como institucional, regional o incluso nacional. Este apartado describe las implicaciones centrales, sustentadas en la literatura especializada de la Didáctica de las Ciencias, la alfabetización científica y la formación Inicial de docentes (Acevedo, 2009; Couso, 2020; Osborne y Dillon, 2008).

### **Impacto en la formación inicial de docentes**

Se espera que el conjunto de criterios y orientaciones derivados del estudio incida directamente en los planes de estudio y prácticas pedagógicas de las licenciaturas y programas de formación docente en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Con ello, los futuros educadores podrían adquirir herramientas más sólidas para guiar a su propio alumnado en la construcción y revisión de modelos científicos. Fortaleciendo así, la competencia científica docente. Según Shulman (1987), contar con un marco sólido de competencias científicas, en este caso, la modelización, facilita que los futuros docentes adquieran un conocimiento más robusto. De esta manera, se atiende la necesidad de formar educadores capaces de orientar a sus estudiantes en la construcción y revisión de modelos científicos (Gilbert y Justi, 2016).

Al contar con referentes claros de cómo articular la modelización de manera efectiva, se prevé un impacto positivo en la calidad de la enseñanza de las ciencias: explicaciones más rigurosas, integración de la dimensión socio-ambiental y promoción de la reflexión crítica sobre los fenómenos naturales y tecnológicos. Que aportan a mejoras en la calidad de la enseñanza.

En el mismo sentido, se espera el fortalecimiento de la competencia científica docente, al disponer de referentes claros de cómo integrar la modelización en la enseñanza de la energía y los problemas socio-ambientales, los DFI elevan su nivel de comprensión epistemológica, pedagógica y habilidades didácticas (Couso, 2020). Con esto, se espera que las explicaciones científicas sean más rigurosas y que se promueva un pensamiento crítico y reflexivo sobre los fenómenos naturales y tecnológicos (Millar y Osborne, 1998). El impacto se refleja en la calidad de la enseñanza al propiciar que los docentes, como señala Loughran (2007), manejen estrategias específicas para fomentar la construcción, contraste y aplicación de modelos científicos en el aula.

### **Impacto en el aula de ciencias**

La adopción de las secuencias de enseñanza basadas en modelización podría propiciar ambientes de aprendizaje colaborativos y reflexivos, ya que la adopción de esta estrategia puede derivar en aulas donde los estudiantes construyan modelos, discutan sus hallazgos y refinan sus

explicaciones a lo largo de su construcción (Windschitl, Thompson, y Braaten, 2012; Schwarz et al., 2009). Esto promueve la participación y la argumentación basada en evidencias, uno de los pilares de la alfabetización científica (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008).

Del mismo modo, al modelar fenómenos energéticos (como el *fracking* o la transición de energías fósiles a renovables), los estudiantes se ven inmersos en procesos de análisis de evidencias, contraste de ideas y discusión socio-científica (Ratcliffe y Grace, 2003), que aporta al desarrollo de habilidades argumentativas y el pensamiento crítico. Según Osborne y Dillon (2008), todo lo anterior, contribuye a formar la ciudadanía científica, entendida como la capacidad de tomar decisiones informadas y éticas en contextos de controversia técnica y ambiental.

### **Impacto en la comunidad educativa**

Los hallazgos y criterios de la investigación pueden informar la elaboración de recomendaciones a nivel institucional, regional o nacional que reconozcan la relevancia de la modelización para la enseñanza de las ciencias (Duschl y Bybee, 2014). Esto cobra especial relevancia en el diseño de currículos que valoren la dimensión socio-ambiental y las competencias científicas, tal como proponen Osborne (2014) y organismos internacionales como la UNESCO (2017) en materia de sostenibilidad y educación.

Sumado a esto, aunque la investigación se centró en la formación inicial, las orientaciones derivadas de la modelización pueden aplicarse a docentes en servicio que busquen actualizar sus enfoques pedagógicos. De acuerdo con Van Driel, Beijaard, y Verloop (2001), la formación permanente es determinante para consolidar cambios duraderos en la práctica docente y para incorporar estrategias más reflexivas y colaborativas en la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, al situar problemas reales como por ejemplo el cambio climático, las transiciones energéticas, la calidad del agua, entre otras, en el centro de la enseñanza, se facilita la conexión entre la escuela y la comunidad. Esto fomenta que las escuelas se conviertan en espacios de deliberación y análisis crítico de los temas que impactan la calidad de vida y el futuro

del entorno (Ratcliffe y Grace, 2003). Así, la educación científica orientada a la modelización contribuye a fortalecer una ciudadanía que afronta los desafíos socio-científicos contemporáneos (Sadler, 2004).

### **Perspectivas de sostenibilidad y cambio a largo plazo**

Uno de los grandes propósitos de la educación en ciencias es favorecer la toma de conciencia sobre la complejidad de la interacción que existe entre la sociedad y la naturaleza (Acevedo, 2009). Al abordar la modelización a partir de un ejemplo con una problemática ambiental como agua, biodiversidad y emisiones, se impulsa una cultura científica que promueve el cuidado del entorno y el uso racional de los recursos (Hodson, 2010).

Del mismo modo, la existencia de un enfoque compartido sobre la modelización en la formación inicial abre la posibilidad de formar comunidades de práctica (Wenger, 1998) que continúen investigando y perfeccionando estas metodologías en distintos niveles educativos. Estas sinergias pueden trascender el ámbito universitario y permear la educación básica y media, garantizando una continuidad pedagógica en la adquisición de competencias modelizadoras (Couso, 2020; Gilbert y Justi, 2016).

Finalmente, ubicar la modelización en el centro de la didáctica de las ciencias conlleva a esa transición en la forma de entender la enseñanza, en la que no solo se ve como transmisión de contenidos, sino como construcción colectiva de explicaciones y reflexión crítica. Como señalan Osborne y Dillon (2008).

## **6.4. Recomendaciones y aportes a futuras investigaciones**

### **Recomendaciones para la Formación Inicial de Docentes**

La formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental demanda que los futuros maestros integren el ciclo completo de modelización en sus prácticas pedagógicas, contemplando las fases de construcción, uso, comparación, revisión y aplicación de modelos (Couso, 2020; Schwarz et al., 2009). Más allá de la mención teórica, resulta vital que esta secuencia sea vivenciada en experiencias concretas que incluyan problemáticas

contemporáneas y reflexionen sobre la naturaleza provisional del conocimiento científico (Gilbert y Justi, 2016; Acevedo, 2009).

En ese sentido, el abordaje de temas como la explotación de recursos hídricos, la degradación de ecosistemas o los impactos de la quema de combustibles fósiles, debe trascender la parte anecdótica. Cuando se involucra la esencia científica de manera sólida y se relaciona con las implicaciones éticas y políticas del fenómeno, se fortalece en los futuros docentes la visión integral de la enseñanza de la ciencia (Osborne y Dillon, 2008; Ratcliffe y Grace, 2003).

Por otro lado, los espacios de autoevaluación y coevaluación resultan esenciales para que los DFI analicen críticamente sus procesos de modelización y la función de los modelos en la ciencia (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). Así, la enseñanza deja de centrarse en la transmisión de contenido, como se sigue viendo en algunos casos y favorece la toma de conciencia sobre el alcance y las limitaciones de cada modelo (Chiu y Lin, 2019b).

Además, en contraste a la evaluación centrada en la calificación, la implementación de rúbricas o instrumentos que valoren la calidad de la construcción de modelos, el rigor argumentativo y el uso de evidencias científicas permite una retroalimentación continua y significativa (Braaten y Windschitl, 2011; Couso, 2020). Lo anterior, a su vez, consolida las competencias modelizadoras y refuerza la dimensión crítica y reflexiva del futuro docente.

Así mismo, el uso de simuladores, laboratorios virtuales o entornos colaborativos en línea estimula experiencias de investigación científica auténtica (Duschl y Bybee, 2014). Estas prácticas dinámicas y contextualizadas no solo promueven la visualización de fenómenos complejos, sino que también impulsan una didáctica de las ciencias más acorde con los retos actuales, donde las tecnologías y la interdisciplina juegan un papel fundamental (Osborne, 2014).

En este orden de ideas, la enseñanza de las ciencias adquiere un aspecto particularmente ético y ciudadano cuando los futuros docentes comprenden que la construcción y revisión de modelos científicos inciden en la toma de decisiones informadas y en la responsabilidad

socioambiental (Acevedo, 2009; Sadler, 2004). Este enfoque enmarca la urgencia de una educación que vincule la modelización con la sostenibilidad (Ratcliffe y Grace, 2003).

### **Aportes a futuras investigaciones**

La comprensión de las competencias modelizadoras en la formación docente representa un campo de estudio en continuo crecimiento, que requiere investigaciones cada vez más amplias y profundas (Gilbert y Justi, 2016). A partir de los hallazgos de la presente investigación, se proponen varias líneas de estudio y perspectivas que contribuyen a consolidar el cuerpo teórico y empírico de la didáctica de las ciencias.

Inicialmente, resulta necesario observar la evolución de las competencias modelizadoras a lo largo de todo el ciclo formativo de los futuros docentes. Diseños de investigación con seguimiento temporal permitirían identificar momentos clave de crecimiento y de estancamiento, así como la eficacia de diferentes intervenciones didácticas (Schwarz et al., 2009). En ese sentido, explorar factores institucionales, curriculares o socioculturales que faciliten u obstaculicen la apropiación de la modelización en la formación inicial. Por ejemplo, comparar programas de licenciatura en contextos urbanos y rurales, o en instituciones con distintos enfoques epistemológicos, podría arrojar luz sobre la universalidad o particularidad de los criterios modelizadores (Ratcliffe y Grace, 2003).

Por otro lado, resultaría valioso contrastar la enseñanza impartida por docentes que se formaron con un fuerte componente de modelización con la de aquellos que emplean enfoques más tradicionales. Esto permitiría medir aspectos como la comprensión conceptual de los estudiantes, sus habilidades de argumentación o su conciencia socioambiental y ofrecería indicadores concretos de eficacia, tal como señala Osborne (2014).

Otra línea está encaminada en investigar cómo herramientas como los diarios de aprendizaje, portafolios de reflexión y foros virtuales inciden en el desarrollo del pensamiento crítico y la autorregulación en la construcción de modelos científicos (Jiménez-Aleixandre y Puig,

2012). Un mayor entendimiento de esta dimensión permitiría perfeccionar las prácticas de enseñanza en relación con la reflexión y la toma de conciencia epistemológica. Así mismo, se requiere profundizar en la creación de rúbricas y cuestionarios orientados a valorar las distintas facetas de la competencia modelizadora como la representación de fenómenos, el poder predictivo, la solidez argumentativa, y el metaconocimiento. La calidad de la evaluación repercute en la posibilidad de una retroalimentación más precisa y en la consolidación de marcos formativos efectivos (Braaten y Windschitl, 2011).

Finalmente, conectar la modelización científica con la ingeniería, la tecnología, las artes y las matemáticas, catalogado como enfoque STEAM por sus siglas en inglés, abre oportunidades para abordar fenómenos complejos desde múltiples perspectivas. Estudios en esta línea pueden ratificar el potencial colaborativo y creativo de la modelización en entornos escolares y universitarios (Couso, 2020).

### **6.5. Alcances de la Investigación**

La presente investigación contribuye de manera significativa a la didáctica de las ciencias y a la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Entre los aportes más destacados se incluyen los lineamientos que permiten orientar las prácticas modelizadoras en la formación docente, con énfasis en la enseñanza de fenómenos complejos (Couso, 2020; Gilbert y Justi, 2016). Su potencial de adecuación a distintos programas de licenciatura refuerza la relevancia de la modelización como estrategia central.

Adicionalmente, la sistematización de las dificultades encontradas al implementar la modelización, como por ejemplo, la escasez de tiempo, evaluación sumativa vs. Formativa, ofrece insumos concretos para diseñar intervenciones formativas que aborden las problemáticas más frecuentes (Braaten y Windschitl, 2011). En ese sentido, al desarrollar instrumentos centrados en la construcción y revisión de modelos, se fortalece la posibilidad de una retroalimentación continua y de un aprendizaje progresivo en competencias modelizadoras (Schwarz et al., 2009).

Adicionalmente, este trabajo presenta hallazgos prácticos sobre la evolución de la competencia modelizadora en un contexto real de formación inicial, enriqueciendo la base de investigaciones que conectan la teoría con la práctica educativa (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2009).

### **6.6. Limitaciones de la Investigación**

A pesar de los aportes de esta investigación, es preciso reconocer diversas limitaciones que condicionan la generalización de sus conclusiones y sugieren la necesidad de seguir profundizando, en primera medida, se trabajó con un número determinado de DFI en dos universidades colombianas, por lo que los resultados podrían no trasladarse automáticamente a otros contextos con distintas condiciones institucionales o culturales (Ratcliffe y Grace, 2003). Además, si bien se obtuvo una comprensión en profundidad de los procesos de modelización, la ausencia de un enfoque cuantitativo limita la posibilidad de un análisis estadístico robusto que corrobore las tendencias identificadas (Hernández Sampieri et al., 2018).

Por otro lado, la duración limitada de las sesiones orientadas al ciclo de modelización redujo la oportunidad de que los participantes exploraran todas las fases con la debida profundidad, especialmente la revisión y aplicación de los modelos (Couso, 2020). Así mismo, la naturaleza integradora de la modelización dificulta la medición precisa de componentes como el metacognoscimiento o el poder predictivo. Hace falta, en consecuencia, validar y construir instrumentos de medición que aborden estas dimensiones de manera más global (Braaten y Windschitl, 2011).

### **Alcances investigativos**

A pesar de las limitaciones señaladas en el apartado anterior, esta investigación contribuye de manera notable a la Educación en Ciencias y a la formación inicial docente en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Los resultados logrados facilitan la elaboración de criterios orientadores, la identificación de tensiones didácticas y la iniciativa de nuevas vías de

investigación, todo lo anterior con el fin de fortalecer la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la formación de futuros maestros (Acevedo, 2009).

Uno de los aportes que más se destaca, radica en la generación de criterios orientadores que bajo un marco conceptual y metodológico claro facilitan el desarrollo de competencias modelizadoras en los docentes en formación. Estos criterios pueden ser aplicados a diversos contextos y programas formativos, ya que sientan las bases para diseñar prácticas que integran la construcción, el refinamiento y la revisión de modelos en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). En la misma línea, la visibilización de tensiones didácticas ofrece una visión crítica que nutre el diseño curricular y las estrategias pedagógicas, al señalar las problemáticas más frecuentes y las oportunidades de mejora cuando se implementa la modelización en el aula.

Esta investigación también, entrega elementos que pueden potenciar la práctica pedagógica en el aula. Los hallazgos obtenidos brindan insumos para diseñar actividades que incorporen la modelización como una estrategia de la enseñanza, promoviendo una comprensión amplia de los fenómenos científicos y su conexión con problemáticas socioambientales. De igual forma, se abren varias posibilidades para futuras investigaciones, como los instrumentos diseñados, así como las categorías de análisis propuestas, pueden adaptarse y ampliarse para explorar otros niveles educativos, disciplinas y contextos (Schwarz et al., 2009).

Asimismo, el énfasis en las competencias metacognitivas, que están inmersas en las competencias modelizadoras, implican una reflexión crítica en el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje. Reconocer la importancia de la metacognición fortalece el pensamiento científico y crítico los docentes acerca de sus procesos de construcción de conocimiento. Por lo tanto, esta orientación resulta pertinente no solo para la formación inicial en ciencias, sino también para otras áreas de la educación.

Por otra parte, cabe destacar el posible impacto en el diseño curricular. Al ubicar la modelización como un elemento central, se promueve un enfoque más reflexivo, innovador y contextualizado en la formación de docentes y la enseñanza de las Ciencias Naturales. No obstante, en la trayectoria de este trabajo surgieron nuevos cuestionamientos. El periodo de implementación y recolección de datos, al depender de los tiempos académicos de los programas de licenciatura, dificulta la observación de cambios a largo plazo en las competencias modelizadoras. Aun así, la aplicación de los instrumentos de investigación y el análisis de las secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñada y las aportadas los DFI, sugiere la necesidad de validar y complementar estos instrumentos con metodologías de observación en aula y un seguimiento mayor en el tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Díaz, J. (2017). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3–16. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3968>
- Acher, A., Arcà, M., y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching-learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398–418.
- Acosta-Téllez, M. E. T., Acher, A., y McDonald, S. (2021). Apoyos prácticos para el profesorado de ciencias en formación inicial en la planeación de una investigación basada en la modelización científica. *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021. Aportaciones de la educación científica para un mundo sostenible* (pp. 645–649).
- Adúriz-Bravo, A. (2017). Pensar la enseñanza de la física en términos de “competencias”. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29(2), 21–31. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v29.n2.18801>
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Un marco para la didáctica de las ciencias basado en modelos y en la construcción de representaciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 409–422.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 248–256.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Modelos científicos escolares y enseñanza de las ciencias: un marco teórico para la práctica docente. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 215–229.
- Adúriz-Bravo, A. (2014). Aportaciones de la historia y la filosofía de la ciencia al modelado escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 145–160.
- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Aportaciones de la historia y la filosofía de la ciencia al conocimiento didáctico del contenido en la formación de profesorado. *REIEC*, 4(2), 1–16.
- Adúriz-Bravo, A., Labarca, M., y Lombardi, O. (2014). Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de Química. *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 37–62). Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Adúriz-Bravo, A., y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Biografía. Escritos sobre Biología y su Enseñanza*, 25–34.
- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 40–47.
- Adúriz-Bravo, A., y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la física: consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Cuaderno Catarinense de Enseñanza de la Física*, 76–89.
- Ageitos Prego, N., y Puig, B. (2016). Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas en secundaria. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(1), 65–84.
- Agustín-Adúriz, B., Gómez Galindo, A. A., Rodríguez Pineda, D. P., López Valentín, D. M., Jiménez, M. D., Izquierdo, M., y Sanmartí, N. (2011). Las Ciencias Naturales en educación básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI. México: Universidad Pedagógica Nacional.
- Aksela, M. (2016). Education for sustainable development in chemistry teacher education. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 1(3).
- Alcalá, M. C. G., Carmona, A. G., y García-Legaz, A. M. C. (2021). Modelos científicos escolares de profesorado de educación infantil en formación al estudiar la disolución de azúcar en agua. *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021. Aportaciones de la educación científica para un mundo sostenible* (pp. 547–550). Universidad de Valencia.
- Aliberas, J., Gutierrez, R., y Izquierdo, M. (1989). Modelos de aprendizaje en la didáctica de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, (9), 17–24.
- Angulo Delgado, F. (2002). Aprender a enseñar ciencias: análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de secundaria, basada en la metacognición. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Aragón Méndez, M. D. M., Oliva, J. M., y Navarrete Salvador, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9–30.
- Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista Científica*, 32(2), 193–206.
- Argandoña, A. (2011). La ética y la toma de decisiones. *Universia Business Review*, (30), 22–31.

- Armario Bernal, M., Jiménez Tenorio, N., y Oliva Martínez, J. M. (2021). Secuencia didáctica sobre el fenómeno de las mareas. *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021* (pp. 1–4).
- Armario Bernal, M., Jiménez Tenorio, N., y Oliva Martínez, J. M. (2012). La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 1–10.
- Atkins, P. (2009). *El dedo de Galileo*. España: Espasa Libros.
- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213–238.
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Bellocchi, A., Ritchie, S. M., Tobin, K., King, D., Sandhu, M., & Henderson, S. (2014). Emotional climate and high quality learning experiences in science teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(10), 1301–1325.
- Bonil, J., y Márquez, C. (2011). ¿Qué experiencias manifiestan los futuros maestros sobre las clases de ciencias? Implicaciones para su formación. *Revista de Educación*, 354, 447–472.
- Booth, W. C., Colomb, G. G., & Williams, J. M. (2016). *The craft of research* (4th ed.). University of Chicago Press.
- Bourdieu, P. (1979). Los tres estados del capital cultural. *Sociológica*, 1(1), 25–37.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639–669.
- Bravo-Torija, B., y Adúriz-Bravo, A. (2021). Modelización y aprendizaje en ciencias: Reflexiones sobre sus alcances y limitaciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 3401–3420.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i2.3401](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.3401)
- Campbell, T., Oh, P. S., Shin, M., & Zhang, D. (2015). Classroom implementation of modeling-centered scientific inquiry as a contextualized instructional framework for science learning. *International Journal of Science Education*, 38(7), 1055–1076.
- Castellví Mata, J., Marolla, J., y Escribano, C. (2023). La investigación cualitativa. En D. Ortega Sánchez (Ed.), *¿Cómo investigar en didáctica de las Ciencias Sociales?* (pp. 125–140). Octaedro.
- Cañal, P. (2004). La alfabetización científica: ¿Necesidad o utopía? *Cultura y Educación*, 16(3), 245–257.

- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science and Education*, 22, 1613–1632.
- Chamizo, J., y García, A. (2014). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias: una experiencia de formación con profesores mexicanos en servicio. En *Avances en didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 79–92). Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Charry-Ocampo, S., y Pérez, A. (2017). Efectos de la estimulación hidráulica (fracking) en el recurso hídrico: Implicaciones en el contexto colombiano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 125–164.
- Cheng, B. H., et al. (2015). Integrating computational thinking and systems thinking: A modeling approach. In *Proceedings of the 2015 Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 349–349). ACM.
- Cheng, X. (2024). Peer instruction: Assisting active learning in science education. *Science Insights Education Frontiers*, 23(1), 3633–3645.
- Chiu, M. H., y Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1–11.
- CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences). (2021). *International ethical guidelines for health-related research involving humans*. <https://cioms.ch/publications/product/international-ethical-guidelines-for-health-related-research-involving-humans/>
- Cofré, H., Camacho, J., Galaz, A., Jiménez, J., Santibáñez, D., y Vergara, C. (2010). La educación científica en Chile: Debilidades de la enseñanza y futuros desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 36(2), 279–293.
- Cordero, N., Fuentes, C., y Rodríguez, J. (2015, abril 27). Desarrollo de rúbricas. *Oficina de Evaluación del Aprendizaje Estudiantil*.
- Couso Lagarón, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, y J. A. Sacristán (Coords.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63–74). FECYT y Fundación Lilly.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Cuadrado, V. A., y Puig, B. (2016). ¿Qué conocimientos movilizan un grupo de futuros docentes para elaborar el modelo de infección por tuberculosis? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 264–275.

- Céspedes Guevara, N. Y. (2016). Análisis del fenómeno dualidad onda-partícula desde la producción de conocimiento. *Universidad Santo Tomás de Colombia*.
- Dalle, J., Moleón, M., y Febres, J. (2005). Investigación cualitativa: Epistemología, metodología y técnicas. Trillas.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871–905.
- de la Rosa González, A. Y., Tripp, M. C., y Ibarra, S. P. C. (2021). La modelización como estrategia para la construcción de explicaciones sobre los seres vivos desde la característica de reproducción. *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021* (pp. 79–82). Universidad de Valencia.
- De Zubiría, J. (2021). *Pedagogía conceptual: Una propuesta para enseñar a pensar*. Editorial Magisterio.
- Denzin, N. K. (2018). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (4th ed.). Routledge.
- Denzin, N. K., y Lincoln, Y. S. (2018). *The SAGE handbook of qualitative research* (5th ed.). SAGE Publications.
- Domènech-Casal, J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 45–61.
- Donaire Gallardo, C. A., Castillo Vega, J. M., y Manso Ayuso, J. (2022). La profesión docente en los discursos de la UNESCO, la OCDE y la Unión Europea. *Revista Iberoamericana de Educación*, 90(1), 17–37.
- Duschl, R. A. (2007). Quality argumentation and epistemic criteria. In S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 159–175). Springer.
- Engelschalt, P., Bielik, T., Krell, M., Krüger, D., & zu Belzen, A. U. (2024). Investigating pre-service science teachers' metaknowledge about the modelling process and its relation to metaknowledge about models. *International Journal of Science Education*, 46(7), 691–714.
- Fackler, A., & Capps, D. (2024). Metacognition and modeling: Exploring pre-service teachers' development of model-based reasoning in biology classrooms. *Journal of Science Teacher Education*, 35(1), 72–91.

- Felipe, A., Gallarreta, S. C., y Merino, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 1–14.
- Finkelievich, S., y Fischnaller, C. (2014). Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, 9(27), 11–31.
- Flick, U. (2015). *Introducción a la investigación cualitativa* (5.ª ed.). Morata.
- Flick, U. (2022). *Doing qualitative research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Flick, U. (2022). *Doing triangulation and mixed methods: Qualitative and quantitative research in practice* (1st ed.). SAGE Publications.
- Flores, R. E. G., Tenorio, N. J., y Martínez, J. M. O. (2021). Uso de rúbricas para evaluar el modelo de ser vivo en estudiantes de magisterio. *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021* (pp. 749–752). Universidad de Valencia.
- Flyvbjerg, B. (2011). Case study. In N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research* (4th ed., pp. 301–316). SAGE Publications.
- Fouré, G. (1997). *La construcción de los saberes: Un ensayo sobre las finalidades de la escuela*. Paidós.
- Furci, V., y Adúriz-Bravo, A. (2024). Configuraciones didácticas y enseñanza de la física basada en modelos y modelización: un estudio de casos en escuela secundaria técnica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 36(1), 157–166.
- García Romano, L., y Occelli, M. (2019). Un modelo analítico para caracterizar recursos tecnológicos basados en contenidos científicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(1), 15–25.
- Garrido Espeja, A. (2016). Modelización y modelos en la formación inicial del profesorado de ciencias: análisis de prácticas y mecanismos de influencia didáctica. *Tesis doctoral*, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Garrido Espeja, A., y Couso, D. (2017). La modelización en la formación inicial de maestros: ¿qué mecanismos o estrategias la promueven? *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, Número Extra, 137–144.
- Garrido Espeja, A., Soto Alvarado, M., y Couso Lagarón, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 87–105.

- Garrido-Espeja, A., Soto, M., y Couso, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1), 87–105.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. University of Chicago Press.
- Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la enseñanza de las ciencias a la educación científica y tecnológica de los ciudadanos. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197–212.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115–130.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Springer.
- Godoy O. L. (2018). Modelos y modelización en ciencias: una alternativa didáctica para los profesores para la enseñanza de las ciencias en el aula. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, Año 2018, Número Extraordinario, Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables, Octubre 10, 11 y 12 de 2018, Bogotá.
- González Ruiz, B. C., y Prieto Muñoz, D. A. (2015). La modelización como vía para la transformación de movimiento circular a lineal a través del diseño de juguetes: un estudio de caso en educación primaria. *Universidad Autónoma de Colombia*.
- Gray, R., y Rogan-Klyve, A. (2018). Talking modeling: Examining secondary science teachers' modeling-related talk during a model-based inquiry unit. *International Journal of Science Education*, 40(11), 1345–1366.
- Guba, E. G., y Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 105–117). SAGE Publications.
- Guevara, N. Y. C. (2017). La producción de conocimiento en el análisis del fenómeno dualidad onda partícula en mecánica cuántica. *Revista Científica*, (27), 88–95.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Biografía*, 37–60.
- Gómez Galindo, A. (2014). El uso de representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En C. Merino, M. Arellano, y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 51–74). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Gómez Moliné, M. R., y Sanmartí Puig, N. (1996). La didáctica de las ciencias: Una necesidad. *Educación Química (UNAM)*, 156–168.
- Gómez, A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11–28.

- Gómez, A. (2014). El uso de las representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 53–60). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Gómez, M. Á. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11–28.
- Halloun, I. (2016). Mediated modeling in science education. *Science and Education*, 16(7–8), 653–697.
- Henze, D. K., Hakami, A., y Seinfeld, J. H. (2007). Development of the adjoint of GEOS-Chem. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 2413–2433.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Hodson, D. (2010). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645–670.
- Hugo, D., Adúriz-Bravo, A., y Sanmartí, N. (2009). Emociones de los profesores y contenidos de didáctica de las ciencias. *International Congress of Science Education* (pp. 19–24). Cartagena de Indias, Colombia.
- Izquierdo Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias: una nueva ciencia. *Historia y epistemología de las ciencias*, 125–138.
- Izquierdo Aymerich, M., y Adúriz-Bravo, A. (1999). Epistemological foundations of school science. *Science and Education*, 8(2), 197–208.
- Izquierdo Aymerich, M., y Merino Rubilar, C. (2009). Los modelos en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, Número Extra, 3477–3479.
- Izquierdo Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science and Education*, 27–43.
- Izquierdo Aymerich, M., y Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *Revista de Estudios de la Ciencia y Tecnología*, 75–87.
- Izquierdo, M., y Adúriz-Bravo, A. (2003). Una propuesta de marco de referencia para la enseñanza de los modelos científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), 213–224.
- Izquierdo, M., y Merino, C. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212–223.

- Izquierdo, M., y Sanmartí, N. (2015). ¿Qué formación didáctica necesitan los futuros profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), 7–24.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las “ciencias para todos” (ESO, nivel secundario). *Revista Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 7(13), 69–85.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and underdetermination in genetics: Implications for students' engagement in argumentation and epistemic practices. *Science and Education*, 23(2), 465–484.
- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J., y Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 39(1), 5–25.
- Justi, R., y Maia, P. F. (2009). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales. In J. A. Chamizo y R. Justi (Eds.), *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales* (pp. 21–54). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Justi, R., y Van Driel, J. H. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. *Research in Science Education*, 35(2–3), 197–219.
- Justi, R., Chamizo, J., García, A., y Figuereido, K. (2011). Experiencias de formación de profesores de ciencias latinoamericanos sobre modelos y modelaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 413–426.
- Justi, R., y Figueiredo, K. L. (2014). Conocimiento pedagógico de contenido (PCK) de profesores sobre modelización. *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 63–78). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teacher's views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387.
- Lederman, N. G., & Abell, S. K. (Eds.). (2014). *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.
- Lopes, B., & Costa, N. (2007). Modelação e modelação na educação em ciências: Perspectivas e desafios. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(3), 21–34.
- Lopez-Mota, A. (2023). Educación en ciencias naturales y formación docente: desafíos. *Revista de Educación en Ciencias*, 1(1), 11–20.
- López-Simó, V., y Simarro, C. (2024). La elaboración de modelos científicos computacionales con Scratch en la formación inicial de maestros. In M. Occelli, L. García Romano, y C. Sosa

- (Comps.), *Prácticas científicas y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias* (pp. 98–114). Universidad Nacional de Córdoba.
- López-Mota, A., Rodríguez Pineda, D. P., y Pereda, S. (2016). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Memorias del IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 1–8).
- López-Simó, V. (2022). Currículum operatiu per a l'ensenyament de l'energia: clarificació conceptual i didàctica. Generalitat de Catalunya.
- López-Simó, V., y Couso, D. (2022). Un currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1–15.
- Maia, P. F., y Justi, R. (2009). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales. In J. A. Chamizo y R. Justi (Eds.), *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales* (pp. 21–54). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Manassero-Mas, M. A., y Vázquez-Alonso, Á. (2019). Conceptualization and taxonomy to structure knowledge about science. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3104.
- Mariano, S. (1999). El estudio de caso: Estrategia de investigación cualitativa. *Revista Iberoamericana de Educación*, (20), 1–11.
- Marino, D., y Di Cosmo, C. (2019). Importancia de la modelización y la tecnología para la enseñanza de las ciencias naturales en contexto. *1º Congreso Internacional de Ciencias Humanas - Humanidades entre pasado y futuro*. Escuela de Humanidades, Universidad Nacional de San Martín.
- Martínez Mediano, C., y Galán González, A. (2014). Técnicas e instrumentos de recogida y análisis de datos. UNED.
- Martínez, M. (2006). *El paradigma cualitativo en la investigación socioeducativa: Fundamentos y aplicaciones*. Trillas.
- Marzábal, A., y Vanegas, C. (2021). Fortalecimiento de la relación teoría-práctica en la formación inicial de profesores de ciencia. In A. Marzábal y C. Merino (Eds.), *Investigación en educación científica en Chile: ¿Dónde estamos y hacia dónde vamos?* (pp. 149–180). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Mazo Murcia, C. A., Arango Ramírez, J. S., y Amelines Rico, P. A. (2019). Discusiones sobre el fracking en Colombia como una cuestión sociocientífica. *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias en debate* (pp. 1–20).
- Meinardi, E., González Gali, L., Revel Chion, A., y Plaza, M. (2010). *Educar en ciencias*. Paidós.

- Mejía-Aguilar, G., Viveros, L., Lizcano, A., y Mendoza-Higuera, E. (2023). Enseñanza de las matemáticas en ingeniería: características del contexto colombiano. *Memorias del Congreso Nacional de Enseñanza de las Matemáticas* (pp. 1–11).
- Mellado Jiménez, V., Borrachero Cortés, A. B., Brígido Mero, M., Melo Niño, L. V., Dávila Acedo, M. A., Conde Núñez, M. C., ... y Bermejo García, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 1–15.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407–2434.
- Mellado, V., y González, T. (2000). La formación inicial del profesorado de ciencias experimentales. España: Marfil.
- Merino-Rubilar, C., y García-Martínez, Á. (2019). Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización: Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 56(2), 1–20.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College London, School of Education.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [Minciencias]. (2022). *Guía de buenas prácticas científicas*. Minciencias.
- Monge, E. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas. *Revista Nacional de Administración*, 1(2), 31–54.
- Monje, M. (2010). *Metodología de la investigación cualitativa aplicada a la educación*. Narcea.
- Moraga-Toledo, S., y Espinet-Blanch, M. (2024). Análisis semántico y cognitivo de secuencias didácticas para la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 5–24.
- Moreno-Arcuri, G., y López-Mota, Á. D. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria. *Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 53–78.
- Márquez, C., y Bach, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Investigación Educativa*, 280–286.
- Nicolau, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 12, 52–73.

- Ocelli, M., García Romano, L., y Sosa, C. (Comps.). (2024). *Prácticas científicas y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 5–24.
- Oliva, J. M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(22), 1–16.
- Orrego, C. E., Salgado, N., & Botero, C. A. (2014). Developments and trends in fruit bar production and characterization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 84–97.
- Ortiz Ibáñez, E. R., Adúriz-Bravo, A., y Tuay Sigua, R. N. (2024). La incidencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 19(3), 564–582.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196.
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. Nuffield Foundation.
- Paz Villagran, V. (2009). Un enfoque de trabajo en el aula: La actividad científica escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 347–352.
- Perticarrari, A., y Oliveira Figueiredo, A. (2022). El aprendizaje basado en modelos mantiene a los alumnos activos y con atención sostenida. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3102.
- Piña-Ferrer, L. S. (2023). El enfoque cualitativo: Una alternativa compleja dentro del mundo de la investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(15), 1–3.
- Polania, M. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603–630.
- Porras Contreras, M., Castellanos Martínez, J., y Barrios Patiño, S. (2020). Enseñanza y aprendizaje de las ciencias en debate. *IX Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias* (pp. 1–10).
- Puig, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. In B. Fraser, K. Tobin, y C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 1001–1015). Springer.
- Páez-Avedaño, S., García, I., y Acevedo, A. (2022). Enseñanza de la expresión genética: modelo y modelización en grado décimo. *Bio-grafía*, 15(29), 54–66.

- Pérez Gómez, A. I. (1994). *La formación del profesorado: Formación del pensamiento pedagógico*. Morata.
- Píriz Giménez, N., y Galagovsky, L. (2021). ¿Es posible “hacer ciencia” en foros de aprendizaje? Modelización de respuestas a estímulos en seres vivos, por estudiantes de profesorado. *Consejo de Formación en Educación*.
- Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: Teaching socioscientific issues*. Open University Press.
- Rodríguez Salamanca, K. L., Abeila Peña, N. S., y García Martínez, A. (2021). Modelización en ciencias naturales: una revisión bibliométrica en el período 2008-2018. *IX Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias* (pp. 1–8).
- Romero Rincón, Y. N. (2022). Relación entre las emociones y el desarrollo profesional de maestros en servicio de la básica primaria en el contexto de la educación en ciencias. *Tesis doctoral*, Universidad Pedagógica Nacional.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513–536.
- Sandín, E. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones*. McGraw-Hill.
- Schuster, A., Puente, M., Andrada, O., y Maiza, M. (2013). La metodología cualitativa: herramienta para investigar los fenómenos que ocurren en el aula. *La Investigación Educativa. Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 4(2), 109–139.
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K–8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158–186.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Snyder, H. (2019). Literature reviews as a research strategy: A systematic review of published work. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Solbes, J., y Tarín, F. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 155–180.

- Soto Alvarado, M. B. (2019). Influencia de la propuesta formativa centrada en la modelización en la evolución del modelo científico escolar de energía en futuros docentes de física y matemáticas. *Tesis doctoral*, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Soto Alvarado, M., y Couso Lagarón, D. (2023). Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(2), 1–21.
- Soto Alvarado, M., Couso Lagarón, D., y López Simó, V. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 90–106.
- Soto Alvarado, M., Vergara Sandoval, C., y Valenzuela Ferry, J. (2023). Caracterización de explicaciones del profesorado de física en formación respecto a las competencias modelizadoras. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1), 3601.
- Soto, M., Couso, D., y López, V. (2019). Una propuesta de enseñanza-aprendizaje centrada en el análisis del camino de la energía “paso a paso”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 2–10.
- Soto, M., Couso, D., López, V., y Hernández, M. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Revista de Educación Científica*, 90–106.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación cualitativa: El estudio de cómo funcionan las cosas*. Ediciones Morata.
- Suri, H. (2020). *Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application*. Springer.
- Tamayo Alzate, O. E. (2013). Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Girona, España.
- Tamayo, O. E., Orrego, M., y Dávila, C. (2014). Relación entre los niveles argumentativos y los modelos explicativos sobre el concepto de respiración en estudiantes de educación secundaria. *Tesis de Maestría*, Universidad Autónoma de Manizales.
- Tasquier, G., Levrini, O., & Dillon, J. (2016). Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: Results from a teaching/learning experience on climate change. *International Journal of Science Education*, 38(4), 539–563.
- Taylor, S. J., y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós.

- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Tuay Sigua, R. N. (2011). Aproximación al debate de los modelos científicos desde una perspectiva inferencialista. *Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED*. <https://e-spacio.uned.es/entities/publication/b7131037-4dbf-496f-a7ab-5c8aaaf470ee>
- Téllez-Acosta, M. E., Acher, A., & McDonald, S. P. (2024). Pre-service elementary teachers learning to plan modeling-based investigations. *Journal of Science Teacher Education*, 35(1), 1–17.
- UNESCO IESALC (2017). *Revista Educación Superior y Sociedad*, 19. Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC).
- UNESCO IESALC. (2022). *Diez ejes para pensar la educación superior del mañana en América Latina y el Caribe*. Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC).
- UNESCO OREALC (2018). *Formación inicial docente en competencias para el siglo XXI y pedagogías para la inclusión en América Latina*. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe (OREALC).
- Urones, J., Basabe, P., Marcos, I., Garrido, N., Moro, R., y Cuadrado, M. (2004). Introducción de nueva metodología docente en el estudio de la Química Orgánica. *Revista de Enseñanza de la Química*, 13(1), 12–20.
- Vaillant, D. (2013). Formación inicial del profesorado en América Latina: Dilemas centrales y perspectivas. *Revista Española de Educación Comparada*, 21, 185–206.
- Valencia Valbuena, F. G. (2019). La educación en ciencias en la primera infancia desarrollada en comunidades de formación: un estudio de caso. *Tesis doctoral*, Universidad Pedagógica Nacional.
- Van Driel, J. H., De Jong, O., & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education*, 86(4), 572–590.
- Vesterinen, V.-M., Tolppanen, S., & Aksela, M. (2016). Toward citizenship science education: What students do to make the world a better place. *International Journal of Science Education*, 38(1), 30–50.
- Villalba Baza, C. A., y Tamayo Alzate, Ó. E. (2012). Concepciones y modelos acerca de la enseñanza de las ciencias naturales en estudiantes de la Licenciatura en Pedagogía Infantil de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 5(8), 95–116.

- Vittorio, S. (2000). *Qué es la entropía*. Bolzano: Norma.
- Vázquez-Alonso, Á., y Manassero-Mas, M. A. (2018). Beyond science understanding: Science education to develop thinking. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 309–336.
- Vázquez-Alonso, Á., y Manassero-Mas, M. A. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *TED*, 15–37.
- Walker, R. (2002). El estudio de caso en la investigación en educación. In J. Nixon (Ed.), *La investigación colaborativa en educación* (pp. 143–158). Morata.
- Wallace, J., & Louden, W. (2000). *Teachers' learning: Stories of science education*. Springer.
- Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of pre-service instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783–835.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and methods* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Zambrano, A., Salazar, T., Candela, B., y Villa, L. (2013). Las líneas de investigación en educación en ciencias en Colombia. *EDUCyT*, 7(8), 78–109.
- Zeidler, D., & Keefer, M. (2003). The role of moral reasoning in argumentation. In D. Zeidler (Ed.), *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (pp. 97–116). Kluwer Academic.
- Zubiría Samper, S. (2021). *El constructivismo: Interpretación y reconstrucción de la realidad previa*. Editorial Norma.

**Apéndice A. Concepto del comité de ética, bioética, e integridad científica de la investigación de la Universidad Santo Tomás de Colombia**




**EL COMITÉ DE ÉTICA, BIOÉTICA E INTEGRIDAD CIENTÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, BOGOTÁ**

**CONCEPTUA:**

Que previo análisis de la información aportada por la estudiante Bibiana Carolina González Ruiz, el Comité de Ética, Bioética e Integridad Científica de la Investigación (CEBIC) en la sesión del 30 de mayo de 2024 emite concepto **APROBADO** al proyecto de investigación: "Criterios orientadores para la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras", presentado por primera vez. Se hace constar en el Acta No. 11 de 2024.

Esta aprobación implica que se reconoce en la propuesta de investigación el cumplimiento de los principales aspectos éticos regulados por la ley colombiana o ratificados por ésta.

El presente Concepto se expide el 30 de mayo de 2024.



<p><b>LINA MARÍA FONSECA ORTIZ</b> Delegada para la presidencia de la sesión y profesional en Psicología</p>	<p><b>JOHANNA LIZETH GONZÁLEZ DEVIA</b> Secretaria del Cebic</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------






NIT.: 860.012.357-6  
Carrera 9 # 51 - 11  
PBX.: +57 (601) 5878797

PROGRAMA INVESTIGACIÓN - 00031704

**Apéndice B. Solicitud de autorización para realizar trabajo de campo**

Bogotá D.C., 05 de junio de 2024

Jefe de Programa  
**Jhon Fredy Castañeda**  
Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental  
Universidad Surcolombiana  
Neiva



**Asunto:** Solicitud de permiso para realizar trabajo de campo.

Reciba un atento saludo

La Facultad de Educación y el Doctorado en Educación de la Universidad Santo Tomás, se permiten presentar a la Doctoranda Bibiana Carolina González Ruiz, identificada con cédula de ciudadanía (00000000), quien se encuentra realizando el proceso de recolección de la información, para la investigación titulada: ***Criterios orientadores para la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde competencias modelizadoras.*** Por lo anterior, solicitamos de manera atenta su autorización para que la estudiante pueda aplicar los instrumentos de investigación pertinentes del proyecto.

De antemano, le agradecemos su disposición, aprobación y tiempo ya que estos insumos serán importantes para llevar a cabo esta investigación.

Cordialmente,



**PEDRO ANTONIO VELA GONZÁLEZ Ed. D.**  
Decano Facultad de Educación

Elaboró Sandra Patricia Velásquez



Bogotá D.C., 3 de abril de 2024

Director de programa  
**Néstor Adolfo Pachón Barbosa**  
 Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental  
 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja

**Asunto:** Solicitud de permiso para realizar trabajo de campo.

Reciba un atento saludo

La Facultad de Educación y el Doctorado en Educación de la Universidad Santo Tomás, se permiten presentar a la Doctoranda Bibiana Carolina González Ruiz, identificada con cédula de ciudadanía ( ), quien se encuentra realizando el proceso de recolección de la información, para la investigación titulada: ***Criterios orientadores para la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde competencias modelizadoras.*** Por lo anterior, solicitamos de manera atenta su autorización para que la estudiante pueda aplicar los instrumentos de investigación pertinentes del proyecto.

De antemano, le agradecemos su disposición, aprobación y tiempo ya que estos insumos serán importantes para llevar a cabo esta investigación.

Cordialmente,



**PEDRO ANTONIO VELA GONZALEZ Ed. D.**  
 Decano Facultad de Educación

Elaboró Sandra Patricia Velásquez

## **Apéndice C. Descripción general de la investigación**

**Título de la investigación:**

### **CRITERIOS ORIENTADORES PARA LA FORMACIÓN INICIAL DE DOCENTES EN CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL: UN ENFOQUE DESDE LAS COMPETENCIAS MODELIZADORAS**

#### **INSTRUCCIONES**

- Por favor, lea cuidadosamente esta información sobre la propuesta de investigación titulada: “Criterios orientadores para la formación inicial de Docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras”.
- Siéntase en completa libertad de preguntar a la investigadora todo aquello que no entienda.
- Una vez haya comprendido la información, se le preguntará si desea participar del estudio. En caso afirmativo, deberá firmar este documento.

#### **DESCRIPCIÓN GENERAL**

Este estudio explora las metodologías utilizadas en la enseñanza y el aprendizaje de la educación ambiental dentro del campo de las ciencias naturales, con un enfoque particular en la modelización científica. Aunque se han realizado mejoras curriculares y se han introducido innovaciones didácticas bajo los nuevos paradigmas constructivistas, la adopción de métodos de enseñanza basados en modelos aún no se ha generalizado en el ámbito educativo. No obstante, se observa un interés creciente entre los futuros docentes de ciencias naturales por incorporar sesiones prácticas de modelización.

Dada la complejidad de factores que influyen en la enseñanza y el aprendizaje, este trabajo resalta la efectividad de los sistemas de modelización en la formación de futuros profesores, especialmente para la implementación de secuencias de aprendizaje prolongadas. Estas secuencias están diseñadas para desarrollar de manera gradual un modelo científico escolar, fundamentado en estudios sobre las concepciones previas de los estudiantes y los desafíos particulares de la enseñanza centrada en la modelización.

Además, al tomar en cuenta el enfoque de formación docente de este estudio, se incorporan hallazgos recientes sobre la aplicación de sistemas de modelización por parte de futuros educadores. Esto no solo enriquece la investigación presente, sino que también ofrece perspectivas valiosas sobre las percepciones estudiantiles respecto a la metodología empleada y las ideas clave para la enseñanza. Así, se fomenta una reflexión crítica sobre la práctica educativa, impulsando una mejora continua en el proceso de formación docente.

#### **OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El objetivo general de la investigación consiste en proponer criterios que orienten las prácticas modelizadoras en la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental; para lograrlo, se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar las competencias modelizadoras de los docentes en formación inicial de ciencias naturales y educación ambiental.
2. Identificar las tensiones didácticas que emergen luego de realizar prácticas científicas modelizadoras en futuros docentes de ciencias naturales.
3. Evaluar las prácticas modelizadoras que proponen los futuros docentes en sus diseños didácticos.

#### **¿POR QUÉ FUE USTED ELEGIDO PARA PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO?**

Usted ha sido seleccionado para participar en este estudio debido a su formación actual en el área de ciencias naturales y educación ambiental, que son fundamentales para el objetivo de esta investigación. El estudio tiene como propósito principal proponer criterios que mejoren y orienten las prácticas de modelización en la formación inicial de docentes. Su experiencia y perspectiva como futuro educador son esenciales para ayudar a identificar las necesidades, desafíos y oportunidades en la implementación de estas prácticas educativas. Participar en este estudio no solo contribuirá al desarrollo de estrategias didácticas más efectivas en su campo, sino que también enriquecerá su propio proceso formativo, proporcionándole herramientas prácticas y teóricas que serán de gran utilidad en su futura carrera docente.

#### **RIESGOS Y BENEFICIOS**

De acuerdo con las consideraciones éticas para estudios con seres humanos, la participación en esta investigación es de bajo riesgo. El estudio se centrará en evaluar prácticas de modelización en la formación inicial de docentes mediante dos instrumentos principales: una secuencia escolar de aprendizaje y un cuestionario. La secuencia escolar de aprendizaje permitirá observar cómo se implementan y desarrollan los modelos científicos en un contexto real de aula, mientras que el cuestionario, facilitará la recopilación de percepciones y opiniones de los futuros docentes sobre estas prácticas. Estos métodos han sido seleccionados para calibrar de manera efectiva las perspectivas y experiencias de los participantes. Durante la participación, es posible que surjan momentos de confusión o cansancio; si esto ocurriera, usted tiene el derecho de pausar o retirarse del estudio en cualquier momento.

En cuanto a los beneficios de su participación, se identifican dos ámbitos principales:

**A nivel individual:** Participar en esta investigación ofrecerá a los futuros docentes una oportunidad invaluable para desarrollar y afinar sus habilidades en la aplicación de metodologías de modelización dentro de las ciencias naturales y la educación ambiental. Este proceso no solo mejorará sus capacidades de análisis y evaluación, sino que también profundizará su comprensión de los enfoques pedagógicos contemporáneos, preparándolos para enfrentar y adaptarse a los desafíos educativos de manera más efectiva.

**A nivel institucional:** Los resultados de esta investigación ayudarán a mejorar las políticas y prácticas educativas relacionadas con la formación de docentes en ciencias naturales y educación ambiental. La participación de los docentes en formación en este estudio fomentará la colaboración y el diálogo entre estudiantes y formadores, fortaleciendo la comunidad educativa y promoviendo un entorno de aprendizaje cooperativo y reflexivo.

#### ¿CÓMO SERÁ LA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO?

Ante todo, es preciso aclarar que la participación en esta investigación es voluntaria; es decir, usted está en libertad de aceptar o negarse. Si decide participar, a continuación, se describe el proceso:

1. Participar en el desarrollo de una secuencia escolar de aprendizaje centrada en el análisis de las competencias modelizadoras de los docentes en formación, luego de participar en primera persona en actividades de modelización.
2. Desarrollo de un cuestionario para identificar las percepciones de los docentes en formación respecto al ciclo de modelización vivido a través de la secuencia escolar de aprendizaje.
3. Se solicitará a los participantes el diseño de una secuencia escolar de aprendizaje
4. Una vez finalizada la investigación se le invitará a participar en el proceso de devolución de resultados.

Es importante destacar que su participación en esta investigación es completamente voluntaria. Usted tiene la libertad de aceptar o declinar su participación. En caso de que decida participar, el proceso se desarrollará de la siguiente manera:

**Participación en la secuencia escolar de aprendizaje:** Usted participará activamente en el desarrollo de una secuencia escolar de aprendizaje. Este proceso incluirá actividades de modelización práctica que le permitirán analizar y desarrollar sus competencias como futuro docente especializado en ciencias naturales y educación ambiental.

**Realización de un cuestionario:** Después de participar en la secuencia escolar de aprendizaje, completará un cuestionario diseñado para recoger sus percepciones y experiencias respecto al ciclo de modelización vivido. Este instrumento es fundamental para entender cómo la modelización influye en la formación docente.

**Diseño de una secuencia escolar de aprendizaje:** Se solicitará que contribuya al diseño de una secuencia escolar de aprendizaje basada en su experiencia y los conocimientos adquiridos durante el estudio. Este paso es crucial para evaluar la aplicabilidad de las técnicas de modelización en situaciones educativas reales.

**Participación en la devolución de resultados:** Al finalizar la investigación, tendrá la oportunidad de participar en sesiones donde se presentarán los resultados obtenidos. Este es un momento clave para discutir y reflexionar sobre los hallazgos y su posible impacto en la educación científica y ambiental.

#### GARANTÍAS DE SU PARTICIPACIÓN

Para su tranquilidad, me permito informar lo siguiente:

- La investigación no pretende evaluar su desempeño, ni los resultados serán utilizados para ese fin.
- Los datos personales se manejarán adecuadamente con la ley de Habeas Data.
- Participar en la investigación no representa más trabajo para usted.
- Participar en el estudio no representa ningún costo ni para las instituciones educativas, ni para los participantes (docentes).
- Ni usted, ni otra persona involucrada en el estudio, recibirá beneficios políticos, económicos o laborales como compensación por su participación.
- Su participación será completamente voluntaria y tendrá el derecho de retirarse en cualquier momento si así lo desea. Igualmente, si en algún momento desea que la información que usted brinda no sea utilizada por la investigadora, lo podrá comunicar y se respetará su decisión.

#### ACEPTACIÓN

Por favor marque con una "X" en caso de que acepte o no acepte lo siguiente:

<b>Autorizo a la investigadora del estudio "criterios orientadores para la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras" para:</b>	<b>Acepto</b>	<b>No acepto</b>
*Realizar los procedimientos descritos en el documento, necesarios para la realización del estudio de investigación. *Comunicarse con la investigadora para hacer los seguimientos requeridos por el estudio.		

Participante

-----

Nombre

Cédula

Firma

Día/Mes/Año

**ESPACIO RESERVADO PARA EL INVESTIGADOR**

En nombre del estudio **criterios orientadores para la formación inicial de docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras** me comprometo a guardar la identidad de \_\_\_\_\_ como participante. Acepto su derecho a conocer el resultado de la investigación y a retirarse del estudio a su voluntad en cualquier momento. Me comprometo a manejar los resultados de esta evaluación de acuerdo con las normas para la realización de investigación en Colombia (Resolución 8430 de 1993 y Resolución 2378 de 2008) y la ley para la protección de datos personales (Ley estatutaria 1581 de 2012).

Nombre: \_\_\_\_\_

Documento de Identidad No. \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha (día/mes/año) \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

¿INFORMACIÓN O PREGUNTAS ADICIONALES?

Si en algún momento desea obtener información adicional sobre el estudio puede contactar a:

BIBIANA CAROLINA GONZÁLEZ RUIZ

**Investigadora principal.** Doctoranda en

Educación USTA

Email: xxxxxxxxx

Cel: xxxxxxx

## **Apéndice D. Declaración de conflicto de intereses**

De acuerdo con lo establecido en el artículo 11 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo (Ley 1437 de 2011) y en el artículo 40 de la Ley 734 de 2002, declaro tener conocimiento de las situaciones que pueden constituir un conflicto de intereses, así como la importancia de identificarlos y declararlos preventivamente en cumplimiento de la política de integridad pública.

Por lo tanto, BIBIANA CAROLINA GONZÁLEZ RUIZ, identificado(a) con cédula de ciudadanía xxxxxxxx de Bogotá, vinculada a la Universidad Santo Tomás en calidad de estudiante de doctorado, y a la secretaria de educación de Bogotá en calidad de docente de Física.

Dependencia o Área de Trabajo: secretaria de Educación de Bogotá, Colegio Fernando González Ochoa IED, áreas de Ciencias Naturales -Física.

Declaro bajo mi responsabilidad y a la firma de este documento que no me encuentro en una situación de conflicto de intereses 1 de tipo: Real, ni Potencial, ni Aparente. Para constancia de lo anterior, se firma el presente documento:

1. Según clasificación de conflicto de intereses: 1) Real: el servidor ya se encuentra en una situación donde debe tomar una decisión, pero, en el marco de esta, existe un interés particular que podría influir en sus obligaciones como servidor público. 2) Potencial: el servidor tiene un interés particular que podría influir en sus obligaciones como servidor público, pero aún no se encuentra en aquella situación en la que debe tomar una decisión. 3) Aparente: cuando el servidor público no tiene un interés privado, pero alguien podría llegar a concluir, aunque sea de manera tentativa, que sí lo tiene.

Nota: La declaración de conflicto de intereses es confidencial y está sujeta a modificaciones de acuerdo con el cambio de circunstancias o situaciones declaradas a su vez que esta declaración será registrada y controlada por el ente responsable.

## ***Apéndice E. Protocolo de Confidencialidad***

Teniendo en cuenta el principio de manejo de datos que contempla la Universidad Santo Tomás en el marco jurídico nacional, en la implementación de la propuesta de investigación titulada “Criterios orientadores para la formación inicial de Docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras”, se tendrá en cuenta el principio de confidencialidad como se establece en la Ley 1581 de 2012:

Artículo 4°. Principios para el Tratamiento de datos personales: literal h) ***Principio de confidencialidad***: Todas las personas que intervengan en el Tratamiento de datos personales que no tengan la naturaleza de públicos están obligadas a garantizar la reserva de la información, inclusive después de finalizada su relación con alguna de las labores que comprende el Tratamiento, pudiendo sólo realizar suministro o comunicación de datos personales cuando ello corresponda al desarrollo de las actividades autorizadas en la presente ley y en los términos de la misma.

En ese sentido los proceso que se tendrán en cuenta son los siguientes procedimientos:

1. Para la elaboración del consentimiento informado se tendrán en cuenta los criterios establecidos en los artículos 14, 15, 16 de la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud.
2. Entregarán los asentimientos y consentimientos informados a todos los participantes en el proceso de investigación, realizando la explicación pertinente de las implicaciones de su participación.
3. En el caso de la participación de menores de edad, se solicitará la firma y autorización de los acudientes registrados en la matrícula de la universidad.
4. Se entregará original y copia del consentimiento y asentimiento informado a los participantes y acudientes.
5. Los participantes pueden abstenerse de responder preguntas o dar información que no consideren pertinente.
6. Los documentos, audios e imágenes recolectadas serán almacenadas y resguardadas bajo responsabilidad de la investigadora.
7. La información recolectada será utilizada sólo con fines de investigación.
8. En el análisis de resultados y la elaboración del informe final, no se usarán nombres propios, se protegerá la identidad e intimidad de los participantes.
9. Los resultados de la investigación serán socializados con los participantes.
10. Terminada la investigación los documentos que ya no se utilicen serán destruidos.

Me comprometo a cumplir con este protocolo en el desarrollo de la propuesta de investigación.

Firma de la Investigadora:

## Apéndice F. Protocolo de Hábeas Data

**Propósito:** Establecer los criterios para la recolección y uso de datos personales con fines científicos en el contexto de desarrollo de la investigación titulada “Criterios orientadores para la formación inicial de Docentes en ciencias naturales y educación ambiental: un enfoque desde las competencias modelizadoras” por Bibiana Carolina González Ruiz, docente responsable de la investigación mencionada.

**Obligaciones:** Este protocolo se establece atendiendo al marco jurídico que lo soporta que es la ley 1581 de 2012 y sus decretos reglamentarios, por lo cual es de obligatorio y estricto cumplimiento por Bibiana Carolina González Ruiz, identificada con cédula de ciudadanía No. xxxxxxxx de Bogotá, docente del Colegio Fernando González Ochoa IED, perteneciente a la secretaria de educación del Distrito, se puede establecer comunicación mediante el número de celular xxxxxxxx e email [bibianagonzalez@usantotomas.edu.co](mailto:bibianagonzalez@usantotomas.edu.co)

**Tratamiento y finalidad:** El tratamiento que realizará Bibiana Carolina González Ruiz, en la recolección, almacenamiento y uso de la información tendrá como propósito, participar en el proceso de investigación doctoral en calidad de informante o participante, en la medida que la investigación corresponde al método cualitativo, hermenéutico - interpretativo, para lo cual se han planteado como objetivo general -proponer criterios que orienten las prácticas modelizadoras en la formación inicial de docentes en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.-; para lograrlo, se desarrollan tres objetivos específicos: 1. Identificar las tensiones didácticas que emergen luego de realizar prácticas científicas modelizadoras en futuros docentes de ciencias naturales.  
2. Analizar las competencias modelizadoras de los docentes en formación inicial de ciencias naturales.  
3. Evaluar las prácticas modelizadoras que proponen los futuros docentes en sus

**Derechos de los titulares:** Se debe hacer claridad que como titular de sus datos personales Usted tiene derecho a: acceder a los datos proporcionados que hayan sido objeto de tratamiento, conocer, actualizar y rectificar su información, solicitar prueba de la autorización otorgada, revocar la autorización y/o solicitar la supresión y abstenerse de responder las preguntas sobre datos sensibles.

**Atención de peticiones, consultas y reclamos:** En caso de estar inconforme con el tratamiento de los datos suministrados puede informar directamente a la investigadora Bibiana Carolina González Ruiz, o a los directores de los programas de la licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de las Universidades Surcolombiana y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja, autoridades de las instituciones donde se desarrolla la investigación.

**Procedimientos para el ejercicio del derecho de hábeas data:** En cumplimiento de las normas sobre protección de datos personales, Bibiana Carolina González Ruiz presenta el procedimiento y requisitos mínimos para el ejercicio de sus derechos: Para la radicación y atención de su solicitud le solicitamos suministrar la siguiente información:

1. Nombre completo y apellidos
2. Datos de contacto (Dirección física y/o electrónica y teléfonos de contacto),
3. Medios para recibir respuesta a su solicitud.
4. Motivo que da lugar al reclamo, describiendo el derecho que desea ejercer ya sea conocer, actualizar, rectificar, solicitar prueba de la autorización otorgada, revocar, suprimir, acceder a la información suministrada.

Este protocolo se elabora teniendo en cuenta los términos señalados por la Ley 1581 de 2012 y las demás normas que la reglamenten o complementen. En este sentido me comprometo a cumplir con las disposiciones que allí se establecen para el desarrollo de la propuesta de investigación.

Firma de la Investigadora:  
Xxxxxx

## Apéndice G. Secuencia de enseñanza - aprendizaje (SEA)



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE COLOMBIA  
SECUENCIA DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE (SEA)

### 1. RECONOCER LA NECESIDAD DE UN MODELO

#### INTRODUCCIÓN

Se da la bienvenida a esta secuencia de aprendizaje dedicada a explorar el concepto de energía a partir de una de sus ideas clave: *el Impacto ambiental*.

Es importante destacar que esta secuencia tiene como objetivo fomentar la construcción activa de un modelo escolar de aprendizaje a través de la modelización en ciencias.

Observa el siguiente cómic

A través del enlace

[https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/14094/1/0713232\\_00000\\_0000.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/14094/1/0713232_00000_0000.pdf)



**Advertencia**  
Para hacer más cercano este cómic al público infantil, los niños se ambientan en el Sónem, un territorio de pueblo español. Es necesario aclarar que se trata de una "tecnología ambienta" que permite mostrar los distintos dispositivos de aprovechamiento energético, si bien es una situación que difícilmente se podría producir en la realidad. Igualmente, en la intención se muestran los fuertes hitos del Atlántico, que se encuentran a mucha distancia del Archipiélago Canario y a las que no se podría acceder en el tiempo que transcurre en el cómic.

Editan: Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN)  
Caja Insular de Ahorros de Canarias, La Caja de Canarias  
Fundación Española para la Ciencia y Tecnología FECYT  
Ministerio de Ciencia e Innovación - Gobierno de España

Guión, dibujo y color: Bruno Lanzarote Pérez - Bialla Comunicación.  
Asesoramiento: MP José Rueda, Carlos Barrera, Javier González y Deura Vega.  
Diseño y maquetación: www.biallacomunicacion.com  
Impresión: Litografía San José, S.L.

Copyright © 2011 Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN).  
Financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Economía y Competitividad.

Reservados todos los derechos. Queda autorizada la reproducción con fines educativos y divulgativos sin ánimo de lucro, siempre que se cite la procedencia.

Depósito Legal: UC 2199-2011  
ISBN: 94-695-3820-9  
978-94-695-3820-3

#### Actividad individual

- La secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA), inicia con la visualización de una serie de imágenes que representan distintos escenarios.



No obstante, antes de adentrarse en las reflexiones, se propone a los participantes responder algunas preguntas: ¿Qué similitudes encuentran entre estas imágenes? ¿Qué conceptos o principios científicos le vienen a la mente al observarlas?

Se propone utilizar la herramienta - mentimeter

Además, se sugiere considerar la siguiente frase como punto de partida para el análisis:

"El equilibrio entre las necesidades energéticas y la preservación del medio ambiente es un desafío crucial en la actualidad, donde fenómenos como la transferencia de energía, la conservación de la materia y la dinámica de los ecosistemas juegan un papel fundamental."

b. Realizar la siguiente lectura

Resumen, traducción y adaptación del texto: Currículum operatiu per a l'ensenyament de l'energia: clarificació conceptual i didáctica (López-Simó, Víctor) 2021

#### **EL USO DE LA ENERGÍA SIEMPRE IMPLICA UN IMPACTO AMBIENTAL**

*Todas las acciones humanas tienen un impacto directo o indirecto en el medio ambiente, pueden ser efectos muy pequeños (como es el caso de los molinos tradicionales) o muy grandes (como con las centrales eléctricas de carbón). Puede ocurrir en la explotación de recursos (como en el fracking, o con la extracción de materias primas para fabricar baterías para almacenar energía) o en forma de residuos y contaminación (como en los gases contaminantes emitidos por los medios de transporte), e incluso en algunos casos puede "retrasarse" en forma de riesgo ambiental (como sucede con los residuos nucleares subterráneos), no obstante, estos no desaparecen.*

*La Tierra es capaz de absorber y compensar algunos de estos impactos, aunque de forma moderada y lenta. En las últimas décadas, los impactos ambientales que se están dando con la quema de combustibles como principal causa de emisiones de gases de efecto invernadero están produciendo una crisis climática sin precedentes en la historia de la humanidad, con efectos muy dañinos en la vida de los humanos en la Tierra.*

*A lo largo de la historia, hemos utilizado objetos e inventos para mejorar nuestras vidas. Sin embargo, esta búsqueda de comodidad y progreso ha tenido un impacto significativo en nuestro entorno. Por ejemplo, los vehículos motorizados, han cambiado radicalmente nuestra forma de desplazarnos, pero también han contribuido a la contaminación ambiental.*

*Cuando interactuamos con la naturaleza y sus recursos energéticos, como la tierra, los alimentos, el agua y el aire, a menudo lo hacemos de manera inconsciente. Utilizamos estos recursos para satisfacer nuestras necesidades diarias, como el transporte, la calefacción y el uso de dispositivos electrónicos. Sin embargo, cada vez que hacemos uso de ellos, estamos afectando la calidad del medio ambiente.*

*Existen muchas maneras de aprovechar las fuentes de energía del planeta, y cada una provoca un tipo de impacto distinto en el medio ambiente. Las fuentes no renovables, como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, son las que tienen un mayor impacto, ya que generan residuos contaminantes que provocan gases de efecto invernadero y contribuyen negativamente al calentamiento del planeta (o bien residuos nucleares muy peligrosos para la salud de los seres vivos si no están bien protegidos). Las fuentes renovables, como la eólica, la hidráulica, la geotérmica o la solar, tienen un impacto menor, ya que no generan residuos contaminantes, pero también pueden impactar negativamente en el medio ambiente. Por ejemplo, la energía hidráulica requiere modificar el curso de los ríos, y la energía eólica necesita ocupar extensiones importantes del territorio. Además, para fabricar placas fotovoltaicas o baterías, se necesitan minerales que son escasos en la Tierra y que hay que extraer de minas.*

No existen soluciones mágicas para evitar del todo los efectos negativos del consumo energético, pero sí algunas formas de reducirlos al máximo. Muchas voces hablan de superar la lógica de la economía lineal (en la que se extraen los recursos, se producen bienes y servicios, se utilizan y se tiran los residuos) y tender hacia una circular (basada en diseños de más larga duración, mantenimiento, reparación, reutilización, reciclaje y renovación para minimizar los recursos utilizados y fabricación de residuos).

Desde las ciencias ambientales, se define el impacto ambiental como el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio en sus diversos aspectos, que a veces son directos y otros colaterales (contaminación y alteración de la composición química del aire, el suelo o agua, alteración de los ecosistemas, etc.). Aunque no siempre, este impacto suele ser negativo y tiene a la vez efectos en la vida de las personas: efectos en la salud, en el paisaje, la organización territorial, etc. Sabemos que algunos de estos efectos negativos pueden ser devastadores, como el cambio climático, que amenaza con una alarmante subida progresiva de la temperatura del planeta, el incremento del nivel del mar (que puede llegar a inundar zonas costeras o islas enteras), la alteración drástica de la climatología y los ecosistemas, etc.

**EXPRESAR/ USAR EL MODELO INICIAL**

Actividad individual

"En el marco de nuestra secuencia de enseñanza - aprendizaje dedicada a explorar el concepto de energía a partir de una de sus ideas clave: el Impacto ambiental, nos gustaría abordar un tema de gran relevancia. Aunque se reconoce que ciertas prácticas de explotación de recursos naturales pueden generar controversia debido a sus posibles efectos negativos en el medio ambiente, también es esencial tener en cuenta que estas técnicas pueden conllevar beneficios significativos en términos de producción. Con este contexto en mente, la pregunta para ustedes es la siguiente: ¿Qué saben sobre la explotación hidráulica "FRACKING"?

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

a. Observa los siguientes videos:



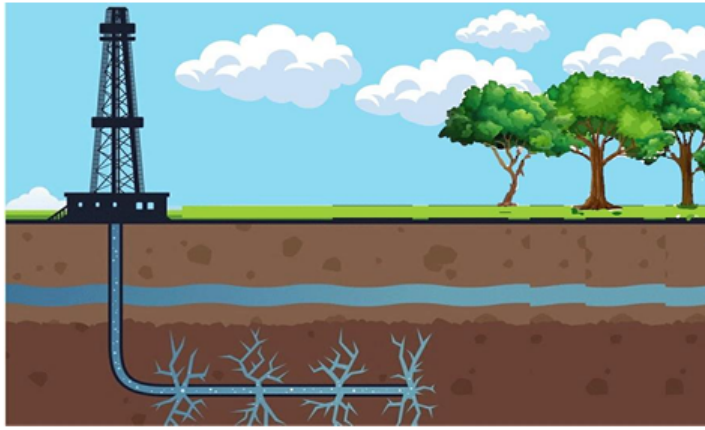
<https://www.youtube.com/watch?v=TVZ0DQZ59SA&t=28s>



<https://www.youtube.com/watch?v=RPDtD0IP1I0>

Recuerda que los videos son didácticos y muestran una versión simplificada de la técnica de explotación hidráulica

b. Usando la imagen describir y señalar los procesos asociados a la técnica de explotación hidráulica (fracking), considerando el impacto ambiental.



- c. Se solicita completar de forma personal la siguiente tabla, proporcionando una explicación detallada que tome en consideración el fracking, también conocido como fracturación hidráulica o estimulación hidráulica. Esta técnica se utiliza para facilitar o incrementar la extracción de gas y petróleo desde el subsuelo.

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas.			
La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas.			
Se requiere entre 9000 y 23000 m <sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.			
Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan.			
La técnica de fracturación hidráulica genera la emisión de dióxido de carbono.			
La técnica de fracturación hidráulica libera gas metano (CH <sub>4</sub> ) contribuye a la formación del ozono troposférico.			
Los residuos químicos tienen un comportamiento distinto dependiendo de cada ecosistema, por ejemplo en las zonas tropicales o de niebla.			
La técnica del fracking genera la producción de petróleo y gas en menor tiempo.			
El gas natural extraído mediante fracking es considerado por algunos como un combustible de transición que puede ayudar a reducir emisiones de carbono a corto plazo, en comparación con otros combustibles fósiles más contaminantes como el carbón.			

#### EVALUAR EL MODELO

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente y entendiendo que el uso de la energía siempre implica un impacto ambiental. Seleccionar los textos que desde su punto de vista considera más acertados (máximo 5).

La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares.	Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático.	A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios.	Cada tipo de tecnología (eólica, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables.
Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación.	La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol. El viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción.	Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto.	Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados.
Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando eso obliga a cambiar nuestra sociedad.	Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo.	Para evitar la contaminación debemos promover y hacer uso otras fuentes de energía.	Las energías renovables como la eólica, la solar e hidráulica generan un impacto ambiental mínimo.

**REVISAR EL MODELO**

Comparte las respuestas y el gráfico con los compañeros de clase, facilitando que se compartan y comparen ideas.

**CONSENSUAR EL MODELO FINAL**

Consensuar un modelo final con el grupo, tomando los elementos discutidos y contemplados anteriormente

**APLICAR EL MODELO FINAL**

Teniendo en cuenta los aspectos discutidos en clase, completar el siguiente cuadro

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EOLICA			
GEOTERMICA			
HIDRAULICA			
SOLAR			
BIOMASA			

**Bibliografía**

Couso Lagarón, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jimenez - Liso, C. Refojo, & J. A. Sacristan, *Enseñando ciencia CON CIENCIA* (págs. 63 - 74). Madrid: FECYT & Fundación Lilly.

Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias: una nueva ciencia. *Historia y epistemología de las ciencias*, 125-138.

López-Simó, V. (2022). *Currículum operatiu per a l'ensenyament de l'energia: clarificació conceptual i didàctica*. Catalunya: © Generalitat de Catalunya.

López-Simó, V., & Couso, D. (2022). Un currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1 - 15.

Nicolau, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assesment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 52 -73.

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 5 - 24.

## Apéndice I. Nube de palabras y métricas de la aplicación mentimeter

NUBE DE PALABRAS PROPORCIONADA POR LA APLICACIÓN MENTIMETER	MÉTRICAS
-------------------------------------------------------------	----------

Pregunta 1: ¿Qué similitudes encuentran entre estas imágenes?



Nube de palabras pregunta 1, Universidad 1



Nube de palabras pregunta 1, Universidad 2

Pregunta 2: ¿Qué conceptos o principios científicos le vienen a la mente al observarlas?



Nube de palabras pregunta 2, Universidad 1



Métrica nube de palabras pregunta 1, Universidad 1



Métrica nube de palabras pregunta 1, Universidad 2



## NUBE DE PALABRAS PROPORCIONADA POR LA APLICACIÓN MENTIMETER



Nube de palabras pregunta 2, Universidad 2

## MÉTRICAS

### Métrica nube de palabras pregunta 2, Universidad 1

¿Qué conceptos o principios científicos le vienen a la mente al observarlas?

3/13 0/39

Most popular

energía 3

viento 3

Also prominent

contaminación 2

energía renovable 2

trabajo 2

Other responses

aerogeneradores alternativas ambiente aprovechamiento consumismo  
 consumo de los recursos elemento energía energía eólica energía eólica  
 energía y trabajos energía cinética energía termodinámica energías estabilidad  
 fósiles generación innovación innovación e impacto ambi movimiento ondulatorio  
 obtención de energía ondas recursos no renovables recursos renovables  
 sistemas de energía sistemas eólicos transferencia de energía

### Métrica nube de palabras pregunta 2, Universidad 2

## Apéndice H. Cuestionario

### CUESTIONARIO

#### DOCENTES EN FORMACIÓN INICIAL LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

NOMBRE: \_\_\_\_\_

Con el fin de conocer las ideas sobre la práctica realizada en el seminario, se solicita que responda este cuestionario con total sinceridad. Las respuestas servirán para mejorar la formación de profesores en ciencias naturales y educación ambiental, y no se utilizarán para evaluar los conocimientos.

Adaptado de: (Soto Alvarado, 2019)

- ¿Cuáles de las actividades realizadas en la SEA (Secuencia Escolar de Enseñanza y Aprendizaje) le han sido más útiles para comprender el concepto de energía, específicamente en relación con la idea de impacto ambiental?
- ¿Qué considera que le falta a la SEA que le hubiera ayudado en una mejor construcción de conocimiento?
- A continuación, se presenta una serie de actividades desarrolladas en el seminario a través de la SEA. Marque con una cruz (X) las 5 actividades que le han servido más para aprender sobre ciencias.

<i>Reconocer la necesidad de un modelo</i>	Cómic introductorio.	
	Reflexión inicial a partir de imágenes, preguntas orientadoras y una frase clave.	
	Lectura para ampliar los conocimientos sobre el tema.	
<i>Expresar / usar el modelo</i>	Respuesta a la pregunta: "¿Qué sabes sobre la explotación hidráulica ( <i>fracking</i> )?"	
	Visualización de videos sobre el tema.	
	Descripción de los procesos asociados a la técnica de explotación hidráulica ( <i>fracking</i> ) utilizando una imagen, considerando el impacto ambiental.	
	Descripción de ventajas, desventajas e impacto ambiental de los procesos asociados al <i>fracking</i> .	
<i>Evaluar el modelo</i>	Selección de textos relacionados con la energía y su impacto ambiental.	
<i>Revisar el modelo</i>	Compartir y discutir con los compañeros el modelo diseñado sobre impacto ambiental asociado al <i>fracking</i> .	
	Compartir con los compañeros las ventajas, desventajas e impacto ambiental de los procesos asociados al <i>fracking</i> .	
<i>Consensuar un modelo final</i>	Consensuar y llegar a acuerdos en grupo sobre un modelo final.	
<i>Aplicar el modelo final</i>	Escribir sobre las ventajas, inconvenientes e impacto ambiental de diferentes fuentes de energía.	

- De las 5 actividades seleccionadas, ordénelas de mayor a menor importancia. Explique brevemente por qué considera que estas actividades fueron las más relevantes para su aprendizaje.

ACT 1	
ACT 2	
ACT 3	

ACT 4	
ACT 5	

5. Si tuviera que explicar a alguien que no conoce este enfoque didáctico (Modelización en ciencias), ¿cómo lo explicaría?
6. Describa cómo sería su clase de ciencias ideal. Considere los siguientes aspectos:
- ¿Qué tipo de actividades cree que debería implementar el docente?
  - ¿Cómo debería ser la relación entre la teoría y la práctica en la clase?
  - ¿Cómo deberían interactuar los estudiantes entre sí y con el profesor?
  - ¿Cuál considera que debería ser el papel de los estudiantes en la clase? ¿Cómo cree que deberían aprender?
  - ¿Qué estrategias didácticas o metodológicas piensa que serían más efectivas para el profesor en este contexto?  
Puede añadir otros aspectos que considere importantes.

*Agradecemos su tiempo y disposición para completar este cuestionario. Sus respuestas son de gran valor para mejorar la formación en ciencias naturales y educación ambiental.*

## Apéndice I. Registro fotográfico

1. A continuación, se presentan imágenes y fotografías del archivo personal que documentan las sesiones realizadas con los DFI.



Google Meet

**Somos Todos**

ENCUENTRO: DOCENTES EN FORMACIÓN INICIAL EN CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

SECUENCIAS ESCOLARES DE APRENDIZAJE BASADAS EN COMPETENCIAS MODELIZADORAS

Julieth Alejandra González Menrey

Logos of UPEC, UNIVALLE, and other institutions.

Google Meet

**UPEC** **Somos Todos**

EXPRESAR UNAR EL MODELO EDUCATIVO

"Las elevadas precios de la energía, el riesgo de escasez de recursos energéticos y la dificultad para cumplir con los objetivos climáticos animaron sobre la sostenibilidad, la equidad, el acceso y la rentabilidad de la energía"

**¿Por qué necesitamos una transición energética justa?**

¿Qué es la transición energética? Fuente: (KamPuri, 2024)

¿Qué es la transición energética para Colombia? Fuente: (KamPuri, 2024)

Fuente: (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2022)

Google Meet

**UPEC** **Somos Todos**

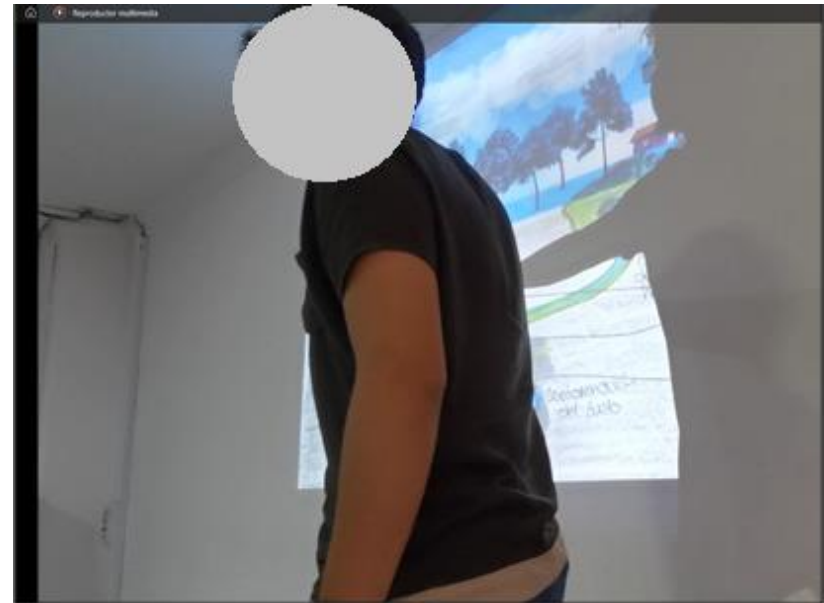
Sesión 2. Expresar el modelo

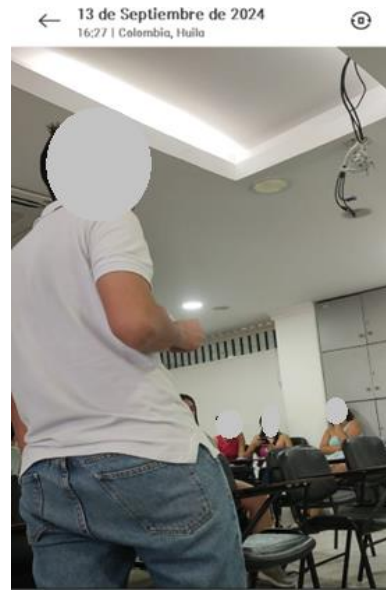
Los Modelos energéticos

PASADO PRESENTE Y FUTURO

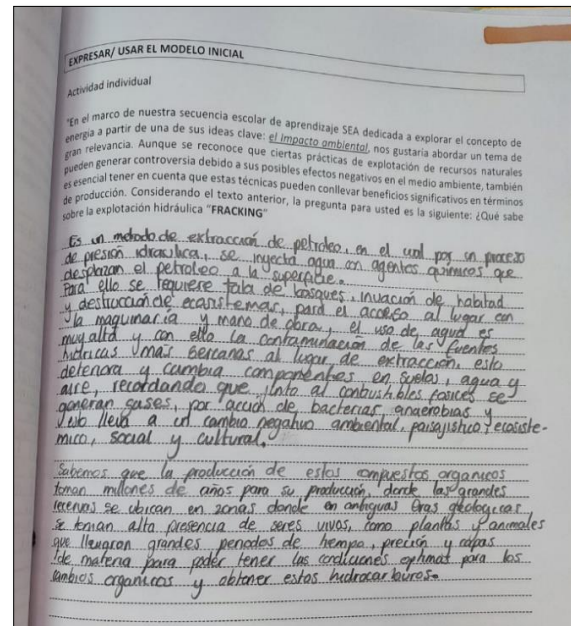
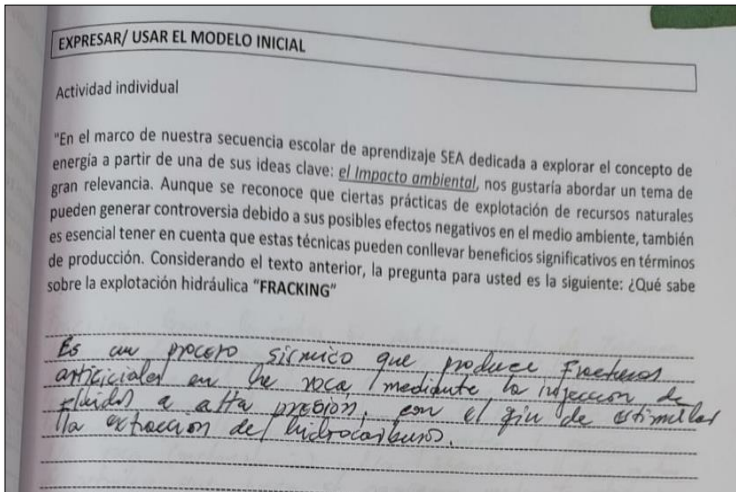
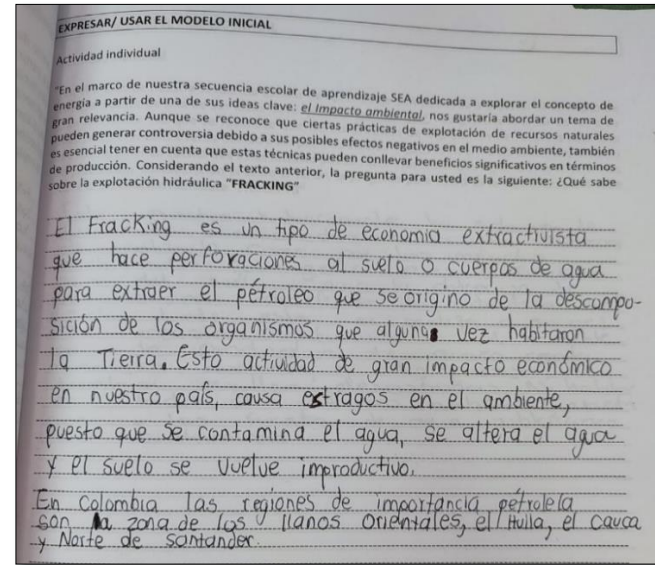
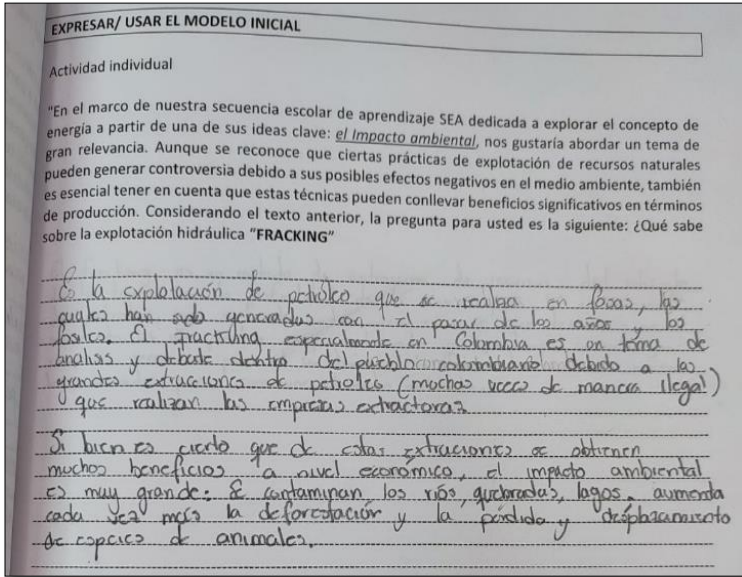
El costo de la energía la transición hacia un futuro sostenible.

¿Qué similitudes encontraría entre los logotipos que presenté?  
¿Qué conceptos o principios científicos le vienen a la mente al observarlos?





2. Imágenes de documentos diligenciados por los DFI.



**EXPRESAR/ USAR EL MODELO INICIAL**

Actividad individual

"En el marco de nuestra secuencia escolar de aprendizaje SEA dedicada a explorar el concepto de energía a partir de una de sus ideas clave: el impacto ambiental, nos gustaría abordar un tema de gran relevancia. Aunque se reconoce que ciertas prácticas de explotación de recursos naturales pueden generar controversia debido a sus posibles efectos negativos en el medio ambiente, también es esencial tener en cuenta que estas técnicas pueden conllevar beneficios significativos en términos de producción. Considerando el texto anterior, la pregunta para usted es la siguiente: ¿Qué sabe sobre la explotación hidráulica "FRACKING"?"

*Es una técnica de explotación de hidrocarburos que consiste en fracturar el suelo a profundidad y crear una red de canales para hacer producir. También utiliza muchísima agua.*

*Estas fragmentaciones profundizan las aguas subterráneas y causan graves afectaciones a los ecosistemas.*

*Es la peor técnica de extracción.*

Se solicita completar de forma personal la siguiente tabla, proporcionando una explicación detallada que tome en consideración el fracking, también conocido como fracturación hidráulica o estimulación hidráulica. Esta técnica se utiliza para facilitar o incrementar la extracción de gas y petróleo desde el subsuelo.

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas.	<i>Creación de hábitats artificiales</i>	<i>Dependencia de combustibles</i>	<i>Contaminación del suelo y erosión</i>
La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas.	<i>Eficiencia y facilidad de acceso a recursos</i>	<i>Utilización de áreas que pueden ser importantes</i>	<i>Tala de árboles para la utilización del espacio</i>
Se requiere entre 9000 y 23000 m <sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.	<i>Permite una mejor perforación de las rocas</i>	<i>Filtración de agua contaminada a otras áreas</i>	<i>Uso excesivo de agua</i>
Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan.	<i>Impide la fricción del agua</i>	<i>Riesgo de accidente a trabajadores</i>	<i>Contaminación de agua subterránea</i>

Teniendo en cuenta lo planeado anteriormente y entendiendo que el uso de la energía siempre implica un impacto ambiental. Seleccionar los textos que de su punto de vista considera más acertados (máximo 5).

La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares.	<i>Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático.</i>	<i>A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios.</i>	Cada tipo de tecnología (eólica, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables.
Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación	La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol. El viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción.	<i>Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto.</i>	Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados.
<i>Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando eso obliga a cambiar nuestra sociedad.</i>	<i>Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo.</i>	Para evitar la contaminación debemos promover y hacer uso de otras fuentes de energía.	Las energías renovables como la eólica, la solar e hidráulica generan un impacto ambiental mínimo.

Se solicita completar de forma personal la siguiente tabla, proporcionando una explicación detallada que tome en consideración el fracking, también conocido como fracturación hidráulica o estimulación hidráulica. Esta técnica se utiliza para facilitar o incrementar la extracción de gas y petróleo desde el subsuelo.

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas.	<i>Económica. Beneficios. Transporte.</i>	<i>Pérdida de biodiversidad.</i>	<i>Contaminación hídrica. Daño total al ecosistema.</i>
La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas.	<i>A mayor profundidad (reactivación de gas oculto).</i>	<i>Daño al territorio.</i>	<i>Pérdida del líquido precioso. Contaminación terreno.</i>
Se requiere entre 9000 y 23000 m <sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.	<i>Sacar los recursos con mayor rapidez.</i>	<i>No se puede tratar.</i>	<i>Contaminación. Cambios ecosistema.</i>
Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan.	<i>Aprovechamiento de extracción de recursos.</i>	<i>Contaminación del aire, agua, tierra (avícolas).</i>	<i>Afectación Salud Humana (Furano, Fibra) efecto invernadero.</i>

Se solicita completar de forma personal la siguiente tabla, proporcionando una explicación detallada que tome en consideración el fracking, también conocido como fracturación hidráulica o estimulación hidráulica. Esta técnica se utiliza para facilitar o incrementar la extracción de gas y petróleo desde el subsuelo.

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas.	Ninguna	- Contaminación de Aguas subterráneas	- Contaminación de Aguas subterráneas - Daño al suelo
La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas.	Ninguna	Deforestación de estas Áreas	Deforestación de estas Áreas utilizadas.
Se requiere entre 9000 y 23000 m <sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.	Los hidrocarburos se utilizan para hacer gasolina y demás combustibles	- Contaminación del Agua - Daño a la Tierra (Suelo).	- Contaminación del Agua - Daño al suelo - Infertilidad de los suelos.
Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan.	Se utilizan Ninguna	Contaminación del Aire	Contaminación del Aire por estos Residuos químicos que se volatilizan

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente y entendiendo que el uso de la energía siempre implica un impacto ambiental. Seleccionar los textos que desde su punto de vista considera más acertados (máximo 5).

La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) depende de la energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares.	Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático.	A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios.	Cada tipo de tecnología (edilicia, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables.
Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación	La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol. El viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción.	Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto.	Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados.
Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando eso obliga a cambiar nuestra sociedad.	Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo.	Para evitar la contaminación debemos promover y hacer uso de otras fuentes de energía.	Las energías renovables como la eólica, la solar e hidráulica generan un impacto ambiental mínimo.

Se solicita completar de forma personal la siguiente tabla, proporcionando una explicación detallada que tome en consideración el fracking, también conocido como fracturación hidráulica o estimulación hidráulica. Esta técnica se utiliza para facilitar o incrementar la extracción de gas y petróleo desde el subsuelo.

PROCESOS REALIZADOS EN EL FRACKING	VENTAJA	DESVENTAJA	IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO
La extracción de gas y petróleo del subsuelo en yacimientos no convencionales genera algún impacto en los ecosistemas.		Generan impactos negativos en todos los ámbitos.	Afectación a los ecosistemas, reduciendo la biodiversidad.
La construcción de estructuras para el desarrollo del fracking y de la extracción del petróleo requiere 1.5 a 2 hectáreas.			Impacto ambiental negativo ya que dañan todos esos hectáreas, no son productivas.
Se requiere entre 9000 y 23000 m <sup>3</sup> de volumen de agua para fracturar (romper) la roca, abrir y agrandar las fracturas con objeto de que los hidrocarburos fluyan al interior del pozo.	Se puede reutilizar.	Contamina otras fuentes de agua.	Se debe regularizar en otros procesos de extracción. No liberarlos a los acuíferos de agua.
Algunos residuos químicos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre, el metano e hidrocarburos ligeros se volatilizan.	Ninguna.	Contaminación de aguas subterráneas, impactos en la salud, etc.	Afecta directamente a los ecosistemas.

APLICAR EL MODELO FINAL

Teniendo en cuenta los aspectos discutidos en clase, completar el siguiente cuadro

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA	• renovable" • No contaminante" (residuos físicos) Económico (mantenimiento)	Ruido (deterioro de ecosistemas) Dependencia de ubicación	Daño del ambiente Afectación a aves micrólogos, y demás
GEOTÉRMICA	• renovable" Calor o refrigeración	Altos costos. Localización superficial	provocar terremotos Daño del territorio por construir la infraestructura.
HIDRÁULICA	económico.	Costos de infraestructura.	Deterioro de fuentes hídricas. Resesamiento. Afectación Flora y Fauna

APLICAR EL MODELO FINAL

Teniendo en cuenta los aspectos discutidos en clase, completar el siguiente cuadro

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA	Energía Renovable	Si a veces no hay energía.	Mucha ocupación de espacio.
GEOTÉRMICA	No produce G.E.I.	No está disponible en cualquier parte	Contaminación Atmosférica
HIDRÁULICA	Renovable	Depende del Agua.	Altera ecosistemas Acuáticos

APLICAR EL MODELO FINAL

Teniendo en cuenta los aspectos discutidos en clase, completar el siguiente cuadro

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA	baja contaminación - Renovables	- Mucho ruido	Contaminación de residuos a largo plazo
GEOTÉRMICA	baja contaminación - Renovables	- Difícil acceso	Modificación del ecosistema.
HIDRÁULICA	baja contaminación - Renovables	- Espacios propensas - Desplazamiento de poblaciones.	- Cambios en el ecosistema - Contaminación y pérdida de fauna y flora

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA	Bajas emisiones de carbono Renovable Poca la dependencia de combustibles fósiles	- Costos mayores - Ruido - daña ecosistemas marinos	emisiones reducidas - Poca ecosistemas marinos
GEOTÉRMICA	- Renovable - bajas emisiones de carbono - bajo costo	- ubicación limitada - costo inicial alto - poca emisión de gases	- emisiones reducidas - uso del suelo
HIDRÁULICA	- capacidad de almacenamiento - Renovable.	- impactos ambientales - costo inicial alto - evaporación + sedimentación	- erosión del suelo - Emisión de gases efecto invernadero - Alteración de hábitat

APLICAR EL MODELO FINAL

Teniendo en cuenta los aspectos discutidos en clase, completar el siguiente cuadro

FUENTE DE ENERGÍA	VENTAJAS	INCONVENIENTES	IMPACTO AMBIENTAL
EÓLICA	Aprovechamiento del viento.	Ruido Alteración del paisaje	Alteración del paisaje y contaminación auditiva
GEOTÉRMICA	Aprovechamiento de la energía de la tierra		Alteración a las relaciones de los organismos que viven allí.
HIDRÁULICA	El agua, se convierte en una fuente de electricidad.	Resacas del agua	Inundación del Suelo.

## Muestra de análisis del Instrumento 1. ¿Qué sabe sobre la explotación hidráulica “Fracking”

DFI	DIMENSIÓN EVALUADA	NIVEL ASIGNADO	JUSTIFICACIÓN
DFI1	Representación del fenómeno del fracking	1	El texto no aborda el concepto de fracking ni sus componentes específicos, sino que se enfoca en una reflexión general sobre la explotación y el bienestar colectivo.
	Interpretación mecanicista	1	No hay una explicación de cómo funciona el fracking o los procesos involucrados en esta técnica de extracción.
	Interpretación causal	1	El texto carece de una explicación causal sobre por qué se realiza el fracking, así como de los posibles efectos y consecuencias de esta actividad en el medio ambiente.
	Poder predictivo	1	No se presenta un análisis predictivo o anticipación de efectos relacionados específicamente con el fracking.
DFI2	Representación del fenómeno del fracking	2	Se presenta una idea básica del fracking, explicando que consiste en la extracción de hidrocarburos mediante fracturas en la roca, pero faltan detalles clave como los componentes esp
	Interpretación mecanicista	2	El texto describe de forma mínima el funcionamiento del fracking al mencionar la fractura de rocas y el uso de químicos, pero no aborda cómo estos elementos interactúan ni cómo se
	Interpretación causal	3	Se identifica una relación causal básica, explicando que el fracking implica el uso de químicos y que esto afecta el ambiente. Sin embargo, no se profundizan los efectos específicos sobr
	Poder predictivo	2	La afirmación sobre el impacto ambiental es muy general y no explora posibles consecuencias a futuro, como la contaminación de aguas subterráneas o efectos en el suelo.
DFI13	Representación del fenómeno del fracking	2	El texto ofrece una mención básica de la técnica de fracking, identificándola como un método para extraer petróleo, pero no profundiza en los componentes específicos del proceso.
	Interpretación mecanicista	2	Aunque se menciona el impacto ambiental en términos generales, no se describen los procesos físicos o químicos involucrados en el fracking, lo cual limita la interpretación del funcio
	Interpretación causal	3	Se reconoce una relación causal entre el uso del fracking y la destrucción del ecosistema, así como la importancia del petróleo para la industria, aunque no se exploran en profundidad l
	Poder predictivo	3	La mención de la transición a energías renovables implica un reconocimiento de la necesidad de alternativas futuras al fracking, con una visión moderada hacia posibles consecuencias i
DFI4	Representación del fenómeno del fracking	2	El texto ofrece una representación básica del fracking, mencionando que se trata de una técnica para extraer petróleo y gas, pero no detalla otros componentes importantes, como el p
	Interpretación mecanicista	2	La interpretación del funcionamiento es mínima, limitándose a señalar que el fracking es una técnica de explosión hidráulica sin explicar cómo actúa el proceso sobre las rocas subterrá
	Interpretación causal	3	El texto proporciona una explicación de algunos efectos ambientales (contaminación del agua, aire y suelo), pero sin detallar cómo estos efectos surgen directamente del proceso de fr
	Poder predictivo	2	Hay mención de posibles efectos (contaminación, impacto en la salud), pero no se adelantan de manera detallada las consecuencias a corto o largo plazo del uso del fracking.
DFI5	Representación del fenómeno del fracking	2	Se presenta una descripción básica del fracking como método para extraer petróleo y gas del subsuelo, pero no incluye suficientes detalles sobre el proceso o sus componentes clave.
	Interpretación mecanicista	2	La interpretación sobre el funcionamiento es mínima. El texto menciona que el fracking produce contaminación, pero no explica el proceso mecánico que conecta la extracción con est
	Interpretación causal	3	Se ofrece una explicación básica de algunos efectos negativos del fracking (contaminación del agua, gases de efecto invernadero), pero no se profundiza en cómo se generan estos imp.
	Poder predictivo	2	Se menciona que las grandes multinacionales son las beneficiarias y que todos sufrimos los efectos negativos, pero no se desarrolla un análisis predictivo de los posibles efectos a corto
DFI6	Representación del fenómeno del fracking	2	El texto menciona que el fracking se utiliza para extraer gas natural y petróleo, pero carece de detalles sobre cómo funciona el proceso o los elementos clave involucrados en la técnica
	Interpretación mecanicista	3	Ofrece una interpretación básica del proceso, mencionando el uso inadecuado del agua y la generación de residuos peligrosos, aunque no profundiza en cómo estos aspectos están cor
	Interpretación causal	3	Se señalan algunos efectos del fracking, como la contaminación de agua y la generación de gases de efecto invernadero, pero la explicación de las causas subyacentes es limitada. No s
	Poder predictivo	2	Aunque menciona la posibilidad de emergencias y la prohibición en algunos países, el texto no ofrece una predicción clara de los efectos a mediano o largo plazo, ni de las implicaciones
DFI17	Representación del fenómeno del fracking	2	El texto menciona que el fracking es una técnica de extracción de gas y petróleo, pero no ofrece detalles específicos sobre el proceso ni sobre los componentes clave involucrados.
	Interpretación mecanicista	2	La interpretación del funcionamiento es mínima. Se menciona la extracción de recursos y la dependencia humana de estos, pero no se describe cómo el fracking opera a nivel técnico o
	Interpretación causal	2	Se menciona que el fracking causa daño ambiental, en particular la contaminación de aguas subterráneas, pero no se profundiza en cómo o por qué este daño ocurre. La explicación ca
	Poder predictivo	2	El texto no incluye un análisis predictivo claro. Se mencionan efectos observados como la contaminación de agua, pero no se anticipan posibles consecuencias futuras o resultados a la
	Representación del fenómeno del fracking	2	El texto menciona la perforación profunda para extraer combustibles fósiles, pero no detalla otros aspectos importantes del proceso de fracking ni describe sus componentes clave.

**Muestra de análisis del Instrumento 2.** Usando la imagen describir y señalar los procesos asociados a la técnica de explotación hidráulica (*Fracking*)”, considerando el impacto ambiental.

DFI	DIMENSIÓN EVALUADA	NIVEL ASIGNADO	JUSTIFICACIÓN
DFI22 - DFI24	Representación del fenómeno del fracking	2	Representa pocos componentes.
	Interpretación mecanicista	2	Interpretación mínima de funcionamiento, sin elementos técnicos.
	Interpretación causal	3	Representa algunos efectos del fracking, no refiere causas.
	Poder predictivo	4	Refiere efectos en suelo, agua y atmosfera, relaciona consecuencias a seres vivos acuaticos.
DFI3-DFI7	Representación del fenómeno del fracking	5	Representa la mayoría de elementos del fracking.
	Interpretación mecanicista	4	Varios componentes de funcionamiento y resultado.
	Interpretación causal	5	Considera efectos ambientales, económicos y sociales.
	Poder predictivo	5	Predice varios resultados futuros, basados en tendencias pasadas.
DFI4 - DFI26	Representación del fenómeno del fracking	3	Algunos elementos del fenómeno, sin referir de manera específica obtención de productos.
	Interpretación mecanicista	4	Refiere algunos procesos e interacciones específicas.
	Interpretación causal	3	Explica varios efectos en materia ambiental, pero no refiere aspecto económico.
	Poder predictivo	5	Anticipa varios resultados basado en tendencias pasadas.
DFI18-DFI16	Representación del fenómeno del fracking	3	Algunos elementos del fenómeno, sin referir de manera específica obtención de productos.
	Interpretación mecanicista	4	Refiere algunos procesos e interacciones específicas.
	Interpretación causal	4	Refiere consecuencias positivas en materia económica y negativas en torno al componente ambiental.
	Poder predictivo	4	Predice efectos en suelo, agua y animales.
19-DFI18-DF	Representación del fenómeno del fracking	2	Representación escasa de elementos del fracking.
	Interpretación mecanicista	2	Interpretación básica de funcionamiento.
	Interpretación causal	3	Contempla consecuencias ambientales, no relaciona económicos
	Poder predictivo	4	Predice daño ambiental, en algunos aspectos.

**Muestra análisis de instrumento 3.** Proporcionar una explicación detallada de la ventaja, desafío e impacto ambiental de cada uno de los procesos asociados al fracking.

DFI	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS TÉCNICOS	VENTAJAS Y DESAFIOS	IMPACTO AMBIENTAL	POTENCIAL PREDICTIVO	JUSTIFICACIÓN
DFI17	2	2	3	1	Explicación superficial de los procesos técnicos y sin análisis predictivo. Impacto ambiental abordado de manera general
DFI20	3	3	3	2	Identificación parcial de los procesos técnicos y análisis básico de ventajas y desventajas. Se menciona impacto ambiental sin gran profundidad.
DFI14	3	3	4	3	Descripción moderada de procesos técnicos y reconocimiento de impactos ambientales con ejemplos. Análisis predictivo moderado
DFI24	2	2	3	1	Explicación con detalles limitados sobre procesos técnicos. Análisis de ventajas y desventajas es superficial.
DFI22	3	3	4	3	Análisis de ventajas y desventajas detallado, con impacto ambiental bien descrito. Predicción de efectos futuros limitada.
DFI21	2	2	3	1	Explicación técnica básica, con mención de ventajas y desventajas sin análisis profundo. Poca proyección futura
DFI10	2	3	3	2	Identificación de impactos ambientales detallada, pero sin una clara explicación técnica de los procesos
DFI4	3	3	4	3	Explicación integral de impacto ambiental, con ventajas y desventajas moderadamente desarrolladas.

#### Análisis instrumento 4. Niveles de energía

<b>SUPERIOR</b>	Existen muchas tecnologías para obtener, transportar y almacenar energía, cada vez mejores, pero también limitaciones físicas (de rendimiento) y materiales (de materia prima) que nunca se pueden resolver del todo. <b>16</b>	A lo largo de la historia los distintos modelos energéticos han cambiado las formas de vivir. La inminente transición energética obligará también a cambiar las formas de producir, intercambiar y consumir bienes y servicios. <b>19</b>	Estamos viviendo una crisis climática originada por el consumo de energía actual. Aunque toda acción humana tenga un impacto ambiental inherente, hay que buscar formas de reducir drásticamente este impacto. <b>31</b>
<b>AVANZADO</b>	Cada tipo de tecnología (eólica, solar, hidráulica, etc.) usa formas distintas de aprovechar las fuentes de energía. Algunas son finitas y otras total o parcialmente renovables. <b>8</b>	Vivimos en una sociedad que depende mucho del petróleo (para fabricar y transportar cosas) y a medida que el petróleo se está agotando, eso obliga a cambiar nuestra sociedad. <b>15</b>	Cada tecnología para obtener energía tiene un mayor o menor impacto en el planeta. Los combustibles fósiles están causando el calentamiento global y el cambio climático. <b>19</b>
<b>INTERMEDIO</b>	La electricidad viene de centrales que aprovechan recursos naturales (La luz del sol, el viento, los ríos, etc.) También usamos gas y petróleo para el transporte o la calefacción. <b>4</b>	La mayoría de las cosas que hacemos (comprar, comer, viajar, etc.) dependen de la energía. Con menos energía, nuestra vida sería muy distinta, como ocurría en el pasado, o en otros lugares. <b>3</b>	Cuando usamos electricidad o gasolina estamos contaminando el medio ambiente. Los efectos de la contaminación son muy variados. <b>3</b>
<b>INICIAL</b>	Muchos aparatos, vehículos o máquinas funcionan con baterías, gasolina o conectados a la red eléctrica, que proviene de los recursos naturales de la Tierra. Su uso suele provocar contaminación. <b>10</b>	Para evitar la contaminación debemos promover y hacer uso de otras fuentes de energía. <b>18</b>	Las energías renovables como la eólica, la solar e hidráulica, generan un impacto ambiental mínimo. <b>12</b>

**Muestra de análisis de instrumento 3.** Teniendo en cuenta las socializaciones grupales, por favor completar el cuadro.

DFI	IDENTIFICACIÓN DE VENTAJAS Y DESAFÍOS	IMPACTO AMBIENTAL	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE CONTESTO	POTENCIAL PREDICTIVO	JUSTIFICACIÓN
DFI10-DFI17-DFI22	3	3	2	1	Las ventajas e inconvenientes están mencionados, pero con explicaciones limitadas. El impacto ambiental es abordado de manera general, sin análisis detallado del contexto ni proyección
DFI14-DFI25-DFI36	4	4	3	2	Identificación clara de ventajas e inconvenientes con análisis básico de impacto ambiental. Se consideran algunos contextos de aplicación, pero con análisis predictivo limitado
DFI12-DFI13-DFI15	3	3	2	1	Explicación moderada de ventajas e inconvenientes con impacto ambiental identificado, pero sin un análisis detallado del contexto o efectos futuros
DFI11-DFI20-DFI27	4	4	3	2	Análisis detallado de ventajas e inconvenientes, incluyendo impacto ambiental con varias perspectivas. Contextualización moderada y proyección futura básica
DFI16-DFI26-DFI34	3	3	2	1	Mención de ventajas e inconvenientes sin profundidad. Impacto ambiental abordado, pero sin interpretación contextual sólida ni análisis predictivo
DFI18-DFI28-DFI35	4	4	3	2	Identificación detallada de ventajas e inconvenientes, con impacto ambiental bien desarrollado. Se considera el contexto, pero el análisis predictivo sigue siendo limitado
DFI19-DFI21-DFI31	3	3	2	2	Explicación clara, pero sin profundidad en la interpretación del contexto o en la anticipación de efectos a largo plazo

## Apéndice J. Ideas clave sobre energía

IDEA CLAVE DE ENERGÍA	DESCRIPCIÓN Y PROGRESIÓN EN LA ESCOLARIDAD
1. <b>IDEA DE CAMBIO Y DE ESTADO:</b> La energía es un concepto que utilizamos para poder seguir la pista a los cambios en el estado de los sistemas	La cantidad total de energía se conserva, pero su capacidad de generar cambios disminuye. Se observa desde la noción de conservación en situaciones simples hasta la aplicación en sistemas complejos.
2. <b>IDEA DE TRANSFERENCIA Y CADENA ENERGÉTICA:</b> La energía se transfiere de un sistema a otro a través de cambios encadenados.	La energía se transfiere de un sistema a otro a través de cambios encadenados, su progresión se discrimina desde la observación de fenómenos cotidianos hasta la construcción de modelos de transferencia energética.
3. <b>IDEA DE CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA:</b> Aunque la cantidad de energía en el universo es siempre la misma, en todos los cambios se degrada irremediablemente y se vuelve menos útil.	La cantidad total de energía se conserva, pero su capacidad de generar cambios disminuye. Se observa desde la noción de conservación en situaciones simples hasta la aplicación en sistemas complejos.
4. <b>LA ENERGÍA EN LOS SERES VIVOS:</b> Todos los seres vivos intercambian energía con el medio ambiente, utilizando una parte y almacenando otra.	Los seres vivos intercambian energía con el medio ambiente para sobrevivir. Se aprecia desde la comprensión de la alimentación en los seres vivos hasta el análisis de flujos energéticos en ecosistemas.
5. <b>IDEA DE APROVECHAMIENTO TECNOLÓGICO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS:</b> Solo podemos aprovechar la energía si contamos con las herramientas adecuadas para hacerlo.	Podemos aprovechar la energía si contamos con herramientas tecnológicas adecuadas. A partir del reconocimiento de fuentes de energía hasta el análisis de eficiencia en sistemas tecnológicos.
6. <b>IDEA DE MODELO ENERGÉTICO:</b> Toda forma de obtener energía va de la mano de un modelo socioeconómico y cultural.	El modelo energético define las fuentes de energía y las formas de producción y consumo. El aprovechamiento surge a partir de la identificación de fuentes de energía locales hasta la evaluación de modelos energéticos globales.
7. <b>IDEA DE IMPACTO AMBIENTAL:</b> El uso de la energía siempre implica un impacto ambiental	El uso de la energía tiene impactos ambientales significativos. Desde la identificación de impactos ambientales hasta la evaluación de políticas energéticas sostenibles.
8. <b>IDEA DE DERECHOS Y DEBERES ENERGÉTICOS:</b> La energía es un bien común y debemos tener derecho a utilizarla y hacer buen uso de ella.	La energía es un bien común y su acceso debe ser un derecho, pero también implica responsabilidades. Se asume desde la comprensión del derecho a la energía hasta la reflexión sobre el consumo responsable.
9. <b>IDEA DE ENERGÍA COMO RECURSO GEOESTRATÉGICO:</b> el control de la energía siempre ha estado asociado a conflictos sociales, políticos y económicos.	El control de la energía ha estado históricamente ligado a conflictos sociales y políticos. A partir de la exploración de conflictos energéticos históricos hasta el análisis de problemáticas actuales
10. <b>IDEA DE PROTAGONISMO EN EL CAMBIO DE MODELO ENERGÉTICO:</b> Nuestra actitud y toma de decisiones pueden ayudar a cambiar el modelo energético.	Las decisiones individuales y colectivas pueden impulsar el cambio del modelo energético. Se asume desde la reflexión sobre acciones individuales hasta el diseño de propuestas para la transición energética.

