



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas. UNIFAL-MG
Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700. Alfenas, MG.
CEP: 37130-000. Fone: (35) 3701-9720



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

CAROLINE MARIAE PEREIRA

REFERENTE TEÓRICO-METODOLÓGICO PARA PLANIFICAÇÃO DE
SECUENCIAS DIDÁCTICAS: EL CASO DEL FENÓMENO DE
BIOACUMULACIÓN DE PS-NPS EN EL CUERPO HUMANO

ALFENAS/MG

2026

CAROLINE MARIAE PEREIRA

**REFERENTE TEÓRICO-METODOLÓGICO PARA PLANIFICACIÓN DE
SECUENCIAS DIDÁCTICAS: EL CASO DEL FENÓMENO DE
BIOACUMULACIÓN DE PS-NPS EN EL CUERPO HUMANO**

Tesis presentada, como requisito parcial para obtener el grado
de Doctora en Química por la Universidade Federal de
Alfenas. Área de concentración: Química
Línea de investigación: Educación en Química
Directora de Tesis: Profa. Dra. Keila Bossolani Kiill

ALFENAS/MG

2026

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Pereira, Caroline Mariae.

Referente teórico-metodológico para planificação de sequencias didáticas: : el caso del fenómeno de bioacumulación de PS-NPS en el cuerpo humano / Caroline Mariae Pereira. - Alfenas, MG, 2026.

300 f. : il. -

Orientador(a): Keila Bossolani Kiill.

Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Modelização científica. 2. Ensino de Química. 3. Modelo Científico Escolar de Arribo. 4. Sequência Didática. 5. Enfoque CTS. I. Bossolani Kiill, Keila, orient. II. Título.

CAROLINE MARIAE PEREIRA

REFERENTE TEÓRICO-METODOLÓGICO PARA PLANIFICACIÓN DE SECUENCIAS DIDÁCTICAS: EL CASO DEL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE PS-NPS EN EL CUERPO HUMANO

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Química pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 26 de fevereiro de 2026.

Profa. Dra. Keila Bossolani Kiill

Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Alejandra Garcia Franco

Instituição: Universidad Autónoma Metropolitana

Prof. Dr. Luiz Henrique Ferreira

Instituição: Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Ettore Paredes Antunes

Instituição: Universidade Federal de São Carlos

Profa. Dra. Andréia Francisco Afonso

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora



Documento assinado eletronicamente por **Keila Bossolani Kiill, Professor do Magistério Superior**, em 04/05/2026, às 08:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1728422** e o código CRC **8B33A694**.

AGRADECIMENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas e instituciones que, de distintas maneras, contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Este trabajo contó con el apoyo de la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamiento 001, de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Códigos APQ-00544-23 y APQ-05218-23, y de la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado de la Universidad Federal de Alfenas (UNIFAL-MG).

Agradezco a mi familia, por el apoyo constante a lo largo de este proceso.

A mis amigos y colegas, por el acompañamiento, la colaboración y los intercambios que hicieron posible este recorrido.

“Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
a mágica presença das estrelas!”
— Mário Quintana, *Das Utopia*

RESUMO

Esta tesis investiga las debilidades en la implementación del enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) en secuencias didácticas (SD) elaboradas por estudiantes de licenciatura en Química y propone el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) como referencia teórico-metodológica para la planificación didáctica. Basada en la Didáctica de las Ciencias, los estudios CTS y la modelización científica, la investigación cualitativa y exploratoria analizó, en dos fases integradas, las concepciones y prácticas de nueve estudiantes de licenciatura de una universidad federal de Minas Gerais. En la primera fase, los cuestionarios previos y el análisis de contenido (Bardin, 2016) de las nueve SD revelaron un predominio de visiones tecnicistas, una coherencia epistémica de baja a media y un enfoque CTS incompleto. La ausencia de modelización causal, la contextualización ilustrativa y el retorno a la toma de decisiones sociales caracterizan las debilidades formativas. Redirigida por los hallazgos, la segunda fase construyó el MCEA para el Fenómeno Natural de Valor Educativo (FNVE) "bioacumulación de nanoplasticos de poliestireno (PS-NPs) en enterocitos humanos", al tensionar los modelos MCi, MCu y MEI. Se derivaron cuatro criterios de diseño explícitos para SDs CTS-modelización: (1) entidades esenciales para el FNVE (PS-NPs, proteína corona, lisosomas); (2) relaciones causales viables curricularmente; (3) inferencias esperadas de los estudiantes; (4) modelización progresiva. Los resultados evidencian que el MCEA apunta caminos para superar las dicotomías entre CTS y modelización, reorganizando el currículo químico desde una perspectiva crítica y ciudadana. Articulando el rigor epistémico (rombo didáctico Méheut, 2005; López y Mota, 2019), la relevancia sociocientífica y las directrices curriculares, propone SD que permiten la reconstrucción conceptual y el debate basado en el conocimiento científico escolar. Por lo tanto, este trabajo buscó operacionalizar la integración CTS-modelización, aún poco explorada en la literatura nacional, y derivar, a través del MCEA, criterios aplicables a la formación inicial y continua de los profesores. Como resultado de la investigación, se propone, además, la validación empírica de la SD construida sobre la base del MCEA en contextos escolares; así como su expansión a otros FNVE (como nanomateriales y plásticos biodegradables) y a diferentes niveles de enseñanza. Se concluye que la formación docente debe superar la idea de neutralidad científica mediante herramientas como el MCEA,

favoreciendo la formación de profesores capaces de mediar en el aprendizaje crítico ante los retos socioambientales contemporáneos.

Palabras clave: Modelización científica, Enseñanza de la Química, Modelo Científico Escolar de Arribo, Secuencias Didácticas, Enfoque CTS.

ABSTRACT

This thesis investigates weaknesses in the implementation of the Science-Technology-Society (STS) approach in didactic sequences (DSs) developed by pre-service Chemistry teachers and proposes the School Scientific Model of Arribo (MCEA) as a theoretical-methodological framework for instructional planning. Grounded in Science Education, STS studies, and scientific modeling, this qualitative and exploratory research analyzed, in two integrated phases, the conceptions and practices of nine pre-service teachers from a federal university in the state of Minas Gerais, Brazil. In the first phase, preliminary questionnaires and content analysis (Bardin, 2016) of the nine teaching sequences revealed the predominance of technicist views, low-to-medium epistemic coherence, and an incomplete STS approach. The absence of causal modeling, merely illustrative contextualization, and limited return to social decision-making processes characterized the identified training weaknesses. Guided by these findings, the second phase led to the development of the MCEA for the Educationally Valuable Natural Phenomenon (EVNP) “bioaccumulation of polystyrene nanoplastics (PS-NPs) in human enterocytes,” articulating the Scientific Model, the Curricular Model, and the Initial Student Model. Four explicit design criteria for STS-modeling-oriented teaching sequences were derived: (1) identification of essential entities related to the EVNP (PS-NPs, protein corona, lysosomes); (2) establishment of causally meaningful relationships that are curriculum-feasible; (3) definition of expected student inferences; and (4) organization of progressive modeling processes. The results indicate that the MCEA offers pathways to overcome dichotomies between STS and modeling, reorganizing the chemistry curriculum from a critical and citizenship-oriented perspective. By articulating epistemic rigor (didactic diamond; Méheut, 2005; López y Mota, 2019), socioscientific relevance, and curricular guidelines, the model supports teaching sequences aimed at conceptual reconstruction and debate grounded in school scientific knowledge. This work therefore sought to operationalize the integration between STS and modeling, still scarcely explored in Brazilian literature, and to derive, through the MCEA, criteria applicable to both initial and continuing teacher education. As a continuation of this research, future work proposes the empirical validation of the teaching sequence developed through the MCEA in school contexts, as well as its expansion to other EVNPs (such as nanomaterials and biodegradable plastics) and to different educational levels. The thesis concludes that teacher education requires overcoming the notion of scientific neutrality through frameworks such as the MCEA, fostering the

preparation of teachers capable of mediating critical learning processes in the face of contemporary socio-environmental challenges.

Keywords: Scientific modeling, Chemistry Education, MCEA, Didactic Sequences, STS approach.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representación del rombo didáctico que muestra las dimensiones pedagógicas y epistémicas en la SD
- Figura 2 - Rombo didáctico que presenta las dimensiones para el desarrollo de las SD
- Figura 3 - Fase 1: Análisis de secuencias didácticas de estudiantes de Química
- Figura 4 - Fase 2: Profundización teórico-metodológica y construcción del MCEA
- Figura 5 - Relaciones establecidas a partir de las transformaciones que ocurren en el Poliestireno.
- Figura 6 - Fotodegradación del poliestireno (PS) y formación de nanopartículas (PS-NP), incluyendo procesos de oxidación y fragmentación.
- Figura 7 - Representación de una ruta de bioacumulación de PS-NPs en células epiteliales intestinales
- Figura 8 - Representación del fenómeno según el Modelo Curricular (MCu)
- Figura 9 - Representación de las relaciones de causa y efecto sobre la degradación de polímeros en el Modelo Estudiantil Inicial
- Figura 10 - Representación de las interacciones de micro y nanoplásticos con el organismo humano según el Modelo Estudiantil Inicial
- Figura 11- Representación integrada del MCEA para la bioacumulación de PS-NPs

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 –	Cuestionario para recabar las concepciones de los estudiantes sobre SD y CTS.
Tabla 2 –	Intervención propuesta sobre el tema de las lámparas
Tabla 3 –	Guía para el grupo focal
Tabla 4 –	Criterios para analizar la coherencia del contenido científico de las SD
Tabla 5 –	Criterio para analizar el enfoque CTS de la SD.
Tabla 6 –	Instrumento estructurante del MCi.
Tabla 7 –	Organización de las entidades y relaciones del FNVE en la BNCC.
Tabla 8 –	Organización de las entidades y relaciones del FNVE en el CRMG.
Tabla 9 –	Instrumento de síntesis para la construcción del MCu.
Tabla 10 –	Construcción de las relaciones de causalidad a partir de las entidades del FNVE en el currículo.
Tabla 11 –	Construcción de las inferencias derivadas de las entidades y relaciones del MCu
Tabla 12 –	Estructura del instrumento para la organización e interpretación de los datos empíricos escolares en la elaboración del MEI
Tabla 13 –	Instrumento estructurante para la organización de las respuestas de los estudiantes.
Tabla 14 –	Criterios e indicadores para la clasificación de las respuestas de los estudiantes.
Tabla 15 –	Ejemplo de organización de las relaciones de causa y efecto en la elaboración del MEI.
Tabla 16 –	Instrumento de síntesis para la construcción del MEI.
Tabla 17 –	Estructura del instrumento de comparación de entidades en los modelos.
Tabla 18 –	Estructura del instrumento de comparación de propiedades en los modelos.
Tabla 19 –	Síntesis del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA).
Tabla 20 –	Respuesta de los participantes en relación con los aspectos esenciales en SEA
Tabla 21 –	Matriz de frecuencia de las categorías
Tabla 22 –	Concepciones sobre la relación entre enseñanza y aprendizaje
Tabla 23 –	Respuestas de los participantes en relación con SEA y la Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje Investigativo
Tabla 24 –	Respuestas de los participantes en relación con la Educación CTS
Tabla 25 –	Índices de actitud medios (IAM) para el ítem 10111 (N=9)
Tabla 26 –	Índices de actitud medios (IAM) para el ítem 10211 (N=9)

Tabla 27 –	Índices de actitud medios (IAM) para el ítem 90511
Tabla 28 –	Índices de actitud medios (IAM) para el ítem 10311 (N=9)
Tabla 29 –	Análisis estructural del SD-LQ-01
Tabla 30 –	Criterios de análisis de la coherencia del contenido científico
Tabla 31 –	Análisis de los componentes de los SD y del grado de coherencia
Tabla 32 –	Análisis del enfoque CTS en las secuencias didácticas
Tabla 33 –	Análisis del enfoque CTS presente en las secuencias didácticas
Tabla 34 –	Relaciones establecidas entre entidades y su efecto respectivo para explicar el FNVE
Tabla 35 –	Modelo científico propuesto para el FNVE
Tabla 36 –	Temas de los planes de estudio identificados y su correlación con las entidades.
Tabla 37 –	Relaciones de causa y efecto establecidas con las entidades para el MCu.
Tabla 38 –	Modelo curricular propuesto para el FNVE
Tabla 39 –	Relaciones de causa y efecto establecidas con las entidades para el MEI.
Tabla 40 –	Modelo estudiantil inicial para el FNVE.
Tabla 41 –	Tensión de las entidades para componer el MCEA.
Tabla 42 –	Modelo Científico Escolar de Arribo para el FNVE.
Tabla 43 –	Relación entre las demandas cognitivo-educativas y las actividades propuestas.
Tabla 44 –	Secuencia Didáctica sobre la bioacumulación de PS-NPs en células humanas.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLA

CTS	Ciencia, Tecnología y Sociedad
SD	Secuencia Didáctica
SDs	Secuencias Didácticas
BNCC	Base Nacional Común Curricular
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
VOSTS	Views on Science Technology Society
MEI	Modelo Estudiantil Inicial
MCi	Modelo Científico
MCu	Modelo Curricular
MCEA	Modelo Científico Escolar de Arribo
FNVE	Fenómeno Natural de Valor Educativo
QSC	Cuestiones Sociocientíficas
VGEM	View–Generate–Evaluate–Modify
PCC	Práctica como Componente Curricular
ONEPSY	Ontology, Epistemology y Psychology

SUMARIO

1 INTRODUCCIÓN.....	16
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	22
3 MARCO TEÓRICO.....	29
3.1 EDUCACIÓN CTS.....	29
3.2 SECUENCIAS DIDÁCTICAS COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN.....	32
3.2.1 El rombo didáctico y la organización de las SD.....	33
3.2.2 Secuencias Didácticas y aprendizaje conceptual.....	37
3.2.3 Secuencias Didácticas y formación docente.....	38
3.3 MODELOS, MODELIZACIÓN Y MCEA.....	39
4 METODOLOGÍA.....	46
4.1 ¿CÓMO SE DISEÑÓ LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y QUÉ PRINCIPIOS GUIARON ESTA ELECCIÓN?.....	46
4.2 ¿QUIÉN Y QUÉ CONSTITUYÓ EL OBJETO DE ESTUDIO Y DE QUÉ MODO SE ASEGURARON LOS PRINCIPIOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN?.....	47
4.2.1 Contexto de la investigación: caracterización del escenario y de los participantes.....	49
4.3 ¿CÓMO SE CONFIGURARON LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN EN TÉRMINOS DE CORPUS EMPÍRICO E INSTRUMENTOS DE PRODUCCIÓN DE DATOS?.....	49
4.3.1 Primera parte de la investigación: análisis de las secuencias didácticas y del enfoque CTS.....	51
¿Qué datos constituyeron el corpus empírico de esta primera etapa de la investigación?.....	51
¿Cómo se recolectaron los datos y a través de qué procedimientos e instrumentos?.....	51
¿Cómo se analizaron los datos y qué criterios orientaron la construcción de las categorías analíticas adoptadas en la investigación?.....	54
¿En qué medida los resultados de la primera etapa de la investigación requirieron una exploración teórica y metodológica más profunda que reorientó la investigación hacia la adopción del MCEA como herramienta orientadora para la segunda etapa?.....	58
4.3.2 Segunda parte de la investigación: reformulación del enfoque y elaboración de criterios para la planificación de secuencias didácticas.....	59
¿Qué datos constituyeron el corpus empírico de esta segunda etapa de la investigación?.....	59
¿Cómo se recolectaron los datos y a través de qué procedimientos e instrumentos?.....	61
¿Cómo se analizaron los datos y qué criterios orientaron la construcción de las categorías analíticas adoptadas en la investigación?.....	73
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
5.1 CUESTIONARIO PRELIMINAR: PANORAMA DIAGNÓSTICO DE LAS CONCEPCIONES SOBRE EL SD, LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE Y EL ENFOQUE CTS.....	78
5.2 CREENCIAS Y CONCEPCIONES SOBRE CTS: RESULTADOS DEL COCTS-PIEARCTS Y PANORAMA EDUCATIVO DE ESTUDIANTES DE PREGRADO...	88
5.3 DE LA CONCEPCIÓN A LA PRÁCTICA: ANÁLISIS DE LAS SECUENCIAS	

DIDÁCTICAS DESARROLLADAS POR ESTUDIANTES DE PREGRADO.....	95
5.4 MODELO CIENTÍFICO PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICO DE POLIESTIRENO EN ENTEROCITOS HUMANOS.....	112
5.5 MODELO CURRICULAR PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EN ENTERÓCITOS HUMANOS.....	121
5.6 MODELO ESTUDIANTEL INICIAL PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EN ENTEROCITOS HUMANOS.....	126
5.7 TENSIONAMIENTO Y MCEA.....	134
5.8 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	141
6 CONCLUSIONES.....	152
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
APÊNDICE 1.....	168
APÊNDICE 2.....	169
APÊNDICE 3.....	176
APÊNDICE 4.....	177
APÊNDICE 5.....	178
APÊNDICE 6.....	182
APÊNDICE 7.....	183
APÊNDICE 8.....	186
APÊNDICE 9.....	189
APÊNDICE 10.....	190
APÊNDICE 11.....	192
APÊNDICE 12.....	196
APÊNDICE 13.....	200
APÊNDICE 14.....	202
APÊNDICE 15.....	208
APÊNDICE 16.....	210
APÊNDICE 17.....	214
APÊNDICE 18.....	218
APÊNDICE 19.....	225
APÊNDICE 20.....	227
APÊNDICE 21.....	288
APÊNDICE 22.....	294

1 INTRODUCCIÓN

La producción y el consumo intensivos de polímeros sintéticos han generado un pasivo ambiental creciente, cuya persistencia y dispersión constituyen uno de los mayores retos socioambientales contemporáneos (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). En particular, la fragmentación de estos materiales en micro y nanoplásticos ha despertado una creciente atención científica, debido a su capacidad para acumularse en ecosistemas acuáticos y terrestres, penetrar barreras biológicas e interactuar con componentes celulares (SHARMA; CHATTERJEE, 2017; BARBOZA; GIMÉNEZ, 2019). Las nanopartículas plásticas (NP), debido a sus reducidas dimensiones y a su alta reactividad superficial, pueden inducir procesos de estrés oxidativo, genotoxicidad y alteraciones metabólicas en los organismos expuestos (YONG et al., 2020).

En el ámbito educativo, las recientes reformas curriculares para la educación secundaria en Brasil han hecho énfasis en la superación de la fragmentación disciplinaria, el fortalecimiento de la interdisciplinariedad y la centralidad de la formación para la ciudadanía (BRASIL, 2018). Los documentos que orientan el currículo sugieren la articulación entre conocimientos conceptuales, contextos de uso y problemáticas sociocientíficas, a fin de dar sentido a lo que se aprende y favorecer el protagonismo estudiantil (BRASIL, 2018). En este escenario, las Secuencias Didácticas (SD) constituyen unidades de planificación que posibilitan la organización de contenidos, prácticas experimentales y debates sociocientíficos de manera articulada (CORTÉS-MORALES; MARZÁBAL, 2025; TERMINI; BATTAGLIA; FAZIO, 2025; GUIASOLA; AMETLLER; ZUZA, 2021)

Sin embargo, diversos estudios evidencian que los profesores en ejercicio aún enfrentan dificultades en la transposición didáctica de temas complejos, lo que con frecuencia conduce a propuestas de enseñanza fragmentadas, en las que el contenido científico y el contexto social aparecen disociados (EGEVARDT et al, 2021; FERNANDES; MACHADO, 2024). En este contexto, el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) se presenta como una vía posible para atribuir significado al conocimiento escolar, cuestionando la idea de neutralidad de la ciencia y poniendo de manifiesto sus implicaciones éticas, políticas y medioambientales (AIKENHEAD; RYAN, 1992; CACHAPUZ et al., 2005; SOLBES et al, 2018).

Con todo, la mera inclusión de temas relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad en los planes de estudio no garantiza, por sí sola, un aprendizaje crítico y transformador. Para que los estudiantes sean capaces de describir, explicar y predecir

fenómenos como la bioacumulación de nanoplasticos, es necesario recurrir a estrategias basadas en modelos y procesos de modelización científica, que permitan la construcción de representaciones explicativas y la reinterpretación de situaciones problemáticas a la luz de conceptos científicos (GILBERT; JUSTI, 2016; JUSTI, 2006). Desde esta perspectiva, aprender ciencia implica apropiarse de herramientas conceptuales que permitan comprender e intervenir en la realidad, superando los enfoques meramente basados en contenidos y acercando la enseñanza a los retos de la ciudadanía científica en la contemporaneidad (ADÚRIZ-BRAVO, 2005).

La literatura especializada registra diferentes esfuerzos en el campo de la modelización en la enseñanza de las ciencias, especialmente en fenómenos como la fermentación y la nutrición, para los que se han desarrollado Modelos Científicos Escolares de Arribo (MCEA) como referencias para la planificación de SD (LÓPEZ Y MOTA, 2019; ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH, 2009). Sin embargo, hasta el momento, no se identifican propuestas dirigidas específicamente a la construcción de un MCEA para el fenómeno de la bioacumulación de partículas plásticas (PS-NPs) en los enterocitos del intestino humano. Teniendo en cuenta la actualidad y la complejidad de este tema emergente en el campo de la educación científica, el presente estudio propone la elaboración de un MCEA como referente teórico-metodológico, configurado a partir de la tensión entre el modelo científico, el modelo curricular y el modelo estudiantil, contruidos a lo largo de esta investigación. La construcción de este MCEA constituye una etapa esencial para la definición de criterios epistemológicos y didácticos destinados a la planificación de la SD que no se limiten a la descripción del fenómeno, sino que promuevan procesos de reconstrucción conceptual por parte de los estudiantes, mediante el uso de modelos y prácticas de modelización científica (GILBERT; JUSTI, 2016).

A la luz de este marco, esta investigación busca responder a la siguiente pregunta central:

¿Qué criterios de diseño de secuencia didáctica pueden derivarse de la postulación de un modelo de referencia a alcanzar (MCEA), para el fenómeno de bioacumulación de PS-NPs en el cuerpo humano?

La trayectoria investigativa de la tesis se configuró en distintos contextos formativos y mediante sucesivas reconfiguraciones metodológicas, acompañando la evolución del problema de investigación. Este proceso se inició durante el periodo de la pandemia de COVID-19, momento en el que se delineó la propuesta de desarrollar un proceso de formación continua dirigido a profesores de Química de la red pública del estado de Minas

Gerais, en respuesta tanto a las demandas oficiales de planificación interdisciplinaria y elaboración de secuencias didácticas como a las dificultades reportadas por los docentes en ejercicio (BRASIL, 2021). Sin embargo, las restricciones impuestas por el contexto pandémico llevaron a la reformulación del proyecto, que pasó a centrarse en la formación inicial de los estudiantes de licenciatura en Química, con el objetivo de promover competencias para la planificación de propuestas didácticas basadas en el enfoque CTS.

El análisis de los resultados de esta etapa indicó que, aunque los estudiantes de licenciatura demostraron comprender los supuestos generales del enfoque CTS y buscaban incorporarlos en sus planificaciones, el conocimiento científico no siempre asumió un papel central en las secuencias didácticas producidas. Solo en algunos casos los problemas se reinterpretan a la luz de conceptos científicos, lo que compromete la construcción de criterios para la toma de decisiones informadas y la comprensión de las razones por las que determinados conocimientos resultan relevantes para la lectura y la intervención en la realidad (CACHAPUZ et al., 2005). Así, se evidenció una dicotomía: por un lado, las secuencias que ponían énfasis en los contenidos científicos conservaban rasgos característicos de la enseñanza tradicional; por otro, las propuestas que privilegiaban la educación CTS exploraban de manera limitada la modelización de los conceptos científicos subyacentes.

En este contexto, la investigación avanzó hacia una fase de profundización teórico-metodológica, asumiendo el MCEA como dispositivo estructurador del proceso formativo. Este dispositivo se introdujo como un referente capaz de orientar la planificación de la SD a partir de fenómenos, con el fin de favorecer el uso de modelos y procesos de modelización para la construcción y reconstrucción del conocimiento científico en contextos de enseñanza de la química (GILBERT; JUSTI, 2016; ADÚRIZ-BRAVO, 2015).

Para responder a la pregunta de investigación, la presente tesis se organiza en seis capítulos, además de esta introducción. El segundo capítulo presenta la revisión de la literatura, contextualizando los retos en la enseñanza de la química frente a temas emergentes como la bioacumulación de micro/nanoplásticos, las limitaciones de la planificación tradicional (DUI; TREAGUST, 2003), las dificultades representacionales de los alumnos (JOHNSTONE, 2000) y las tensiones en la operacionalización del enfoque CTS (PORTO; TEIXEIRA, 2016). El análisis identificó limitaciones en la articulación entre CTS, modelización y SD, con escasas producciones en Química, frecuentemente restringidas a contextos matemáticos, lo que evidenció la ausencia de una integración sistemática entre la reflexión sociocientífica y los procesos epistémicos conceptuales. A partir de esta revisión se identificó la posibilidad de adoptar el MCEA como referente teórico-metodológico para

orientar la derivación de criterios de diseño de secuencias didácticas, favoreciendo el rigor conceptual y la relevancia ciudadana en el abordaje del fenómeno de la bioacumulación de nanoplasticos en células intestinales humanas.

El tercer capítulo presenta la fundamentación teórica de la investigación, organizada en cuatro ejes principales: (i) el enfoque CTS como superación crítica de la enseñanza tradicional, promoviendo la formación ciudadana y el análisis sociocientífico (AULER, 2001; SANTOS; AULER, 2011); (ii) las SD como unidades de planificación estructurada, basadas en el rombo didáctico de Méheut (2005) y sus reinterpretaciones para la modelización (LÓPEZ Y MOTA; MORENO ARCURI, 2014); (iii) conceptos y funciones de los modelos científicos en la enseñanza de las Ciencias/Química, enfatizando los procesos de construcción, revisión y articulación con fenómenos reales (JUSTI, 2006; GIERE, 2004); y (iv) el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) como referente teórico-metodológico para derivar criterios de planificación y validación de SD, tensionando modelos estudiantiles iniciales, curriculares y científicos (LÓPEZ Y MOTA, 2019). Esta articulación sugiere una posible integración entre el enfoque CTS y los procesos de modelización en la enseñanza contextualizada de la Química, así como una posibilidad para la formación docente.

El cuarto capítulo detalla el recorrido metodológico cualitativo y exploratorio de la investigación, estructurado en dos fases integradas: en la primera, se analizaron las secuencias didácticas elaboradas por nueve estudiantes de licenciatura en Química, utilizando instrumentos como un cuestionario inicial, el COCTS-PIEARCTS (para concepciones CTS), la observación participante, el diario de campo y el grupo focal, mediante un análisis de contenido (Bardin, 2016) que reveló fragilidades conceptuales y epistemológicas. Esta etapa, aprobada por el Comité de Ética (CAAE 66956423.7.0000.5142), identificó aspectos a profundizar que condujeron a la segunda fase, centrada en la construcción del MCEA para la bioacumulación de PS-NPs en enterocitos humanos —tensionando el Modelo Científico (MCi, a partir de la literatura especializada), el Curricular (MCu, BNCC/CRMG) y el Estudiantil Inicial (MEI, mediante un instrumento diagnóstico con respuestas textuales y dibujos de estudiantes de secundaria)—, culminando en la definición de criterios para la planificación y validación de secuencias didácticas.

El quinto capítulo presenta y discute los resultados de la investigación, diagnosticando las concepciones epistemológicas de los estudiantes de licenciatura mediante cuestionarios previos y COCTS-PIEARCTS —que revelan visiones transmisivas predominantes, dualismo CTS e ingenuidades sobre el método científico único—, analiza las SD elaboradas (niveles bajos-medios de coherencia epistémica, ausencia de modelización completa y ciclo CTS

incompleto, y detalla la construcción del MCEA para el fenómeno, tensionando MCi (degradación fotoquímica vía radicales/peroxilos→endocitosis), MCu (BNCC/CRMG: polímeros, radiación, membranas) y MEI (ideas espontáneas descriptivas sin mecanismos causales).

El sexto capítulo presenta las consideraciones finales, retomando el problema de investigación y discutiendo la evolución de la investigación, desde el diagnóstico de las limitaciones CTS en las SD de los participantes (visiones transmisivas, contextualización ilustrativa) hasta la propuesta del MCEA como referente teórico-metodológico que organiza la planificación mediante la tensión de MCi, MCu y MEI, con el fin de superar las fragilidades epistémicas y promover la autonomía docente en secuencias contextualizadas, críticas y articuladas con el currículo.

Objetivo general

Derivar criterios de diseño para secuencias didácticas a partir de la postulación de un Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), como referente teórico-metodológico para la enseñanza del fenómeno de la bioacumulación de nanoplásticos de poliestireno (PS-NPs) en el cuerpo humano.

Objetivos específicos:

- a) Caracterizar las concepciones epistemológicas de los estudiantes de licenciatura en Química sobre las relaciones CTS y el proceso de modelización, identificando cómo estas visiones influyen en la planificación inicial de las propuestas didácticas;
- b) Analizar las secuencias didácticas elaboradas por los participantes, buscando identificar alcances y limitaciones en la integración entre contenidos químicos y dimensiones sociocientíficas;
- c) Sistematizar el Modelo Científico del fenómeno de bioacumulación de PS-NPs, identificando las entidades, propiedades y relaciones causales que fundamentan la explicación científica erudita sobre el tema;
- d) Inferir el Modelo Curricular (MCu) estableciendo las bases para la tensión didáctica entre las prescripciones normativas;

- e) Caracterizar el Modelo Estudiantil Inicial (MEI) para identificar el pensamiento espontáneo de los estudiantes sobre el FNVE;
- f) Postular el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) como la hipótesis rectora del modelo de referencia a alcanzar, integrando los niveles macro, submicro y simbólico del fenómeno;
- g) Establecer los criterios de diseño que surgen del MCEA para orientar la estructura de las unidades de enseñanza que promueven la alfabetización científica crítica y la capacidad de explicación causal.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En las últimas décadas, la enseñanza de la química se ha enfrentado a retos impuestos por transformaciones sociales, tecnológicas y medioambientales —como los micro y nanoplasticos como contaminantes—, lo que exige a los ciudadanos una comprensión crítica y contextualizada de estos fenómenos, teniendo en cuenta sus posibles impactos negativos para la salud humana y el medio ambiente. En este contexto, cobran especial relevancia las propuestas formativas que van más allá de la transmisión de contenidos y fomentan la comprensión conceptual, la toma de decisiones éticas y la participación social. Sin embargo, persisten las lagunas en la planificación didáctica de temas emergentes, lo que justifica la propuesta de un modelo como referente teórico-metodológico para derivar criterios de diseño, articulando el análisis químico, los aspectos sociocientíficos y las prácticas pedagógicas transformadoras (MARTINS, 2022; SANTOS et al., 2024).

Muchos docentes siguen adoptando una planificación tradicional, basada en la organización lineal de los contenidos y con una articulación limitada entre el fenómeno y los procesos de modelización (SJÖSTRÖM; EILKS; TALANQUER, 2020; QUADROS et al., 2011; SILVA; MARCONDES, 2015; SUART, 2016). Este escenario refleja las lagunas del proceso de formación docente, que no siempre consolida conceptos y representaciones de forma integrada. La concepción de la SD como una sucesión de actividades predefinidas o guiones rígidos, que priorizan la organización de contenidos en detrimento de la problematización, la investigación, la modelización y la participación activa de los estudiantes, puede comprometer la profundización conceptual y la coherencia epistémica necesarias para explicaciones científicamente fundamentadas. Teniendo en cuenta que tales comprensiones forman parte del repertorio movilizado en la actuación profesional docente, la literatura indica que el uso de modelos o materiales didácticos poco adecuados puede constituir un obstáculo adicional para la comprensión de los contenidos por parte de los estudiantes de educación básica (SILVEIRA et al., 2019).

Además de los retos asociados a la planificación y la mediación didáctica, las investigaciones señalan que los propios estudiantes se enfrentan a dificultades en la construcción de representaciones científicas de los fenómenos químicos. En este sentido, construyen representaciones espontáneas basadas en observaciones empíricas, priorizando aspectos macroscópicos y analogías que, a menudo, son inconsistentes con las explicaciones científicas, debido a la falta de comprensión de las dimensiones microscópicas y simbólicas de los fenómenos químicos (JOHNSTONE, 2000; CHENG, 2018). Estas dificultades exigen

estrategias didácticas que promuevan el conflicto cognitivo productivo, la reconstrucción de significados y el desarrollo de modelos explicativos más refinados (DUIT; TREAGUST, 2003; DUIT, 2007).

Esta demanda pone de manifiesto un reto recurrente en la enseñanza de las ciencias, especialmente en la química: el aprendizaje escolar no se limita a la transmisión de conceptos ya elaborados, sino que implica un complejo proceso de construcción de significados que articula dimensiones conceptuales, epistemológicas, sociales y culturales. Los estudios revelan que muchos estudiantes dependen de la reproducción de explicaciones memorizadas y descriptivas, sin desarrollar el pensamiento explicativo, la modelización o la comprensión crítica, lo que se agrava ante la necesidad de formar ciudadanos capaces de interpretar problemas sociocientíficos y tomar decisiones fundamentadas (DUIT; TREAGUST, 2003; AIKENHEAD, 2005; SANTOS; AULER, 2011).

Los enfoques tradicionales se muestran insuficientes para promover el pensamiento crítico y la participación activa (DUIT; TREAGUST, 2003). En este contexto, el enfoque CTS cobra relevancia al proponer superar el modelo transmisivo, proponiendo experiencias en las que el estudiante actúa como sujeto epistémico: confrontando concepciones previas, elaborando explicaciones, movilizand modelos y atribuyendo sentido social al conocimiento científico (SANTOS; MORTIMER, 2002). Sin embargo, persiste una tensión: los docentes reconocen la importancia de articular ciencia, tecnología y sociedad, pero muchas propuestas didácticas enfrentan dificultades para operacionalizar esta integración en una planificación coherente, con rigor epistemológico y profundización conceptual (PORTO; TEIXEIRA, 2016).

Ante estas limitaciones, destaca el papel de los modelos y los procesos de modelización. Solé, Couso y Hernández (2023) demostraron que, aunque los estudiantes de secundaria avanzan en la comprensión de la contaminación atmosférica tras una secuencia didáctica basada en la modelización, este progreso no siempre va acompañado de representaciones más sofisticadas de su estructura, lo que pone de manifiesto la persistencia de concepciones inconsistentes sobre la materia. Los resultados refuerzan la necesidad de propuestas didácticas que articulen explícitamente diferentes niveles de representación y favorezcan la construcción gradual de modelos explicativos coherentes.

En un estudio realizado con estudiantes de secundaria sobre el contenido de electroquímica, Lin y Wu (2021) demostraron que las SD que implican la producción y revisión de representaciones favorecen la comprensión conceptual y la retención del aprendizaje, sin diferencias significativas de rendimiento entre las estrategias analizadas. Sin

embargo, las actividades que ampliaron la participación de los estudiantes en la construcción de representaciones indicaron una mayor motivación para aprender Química. Los resultados refuerzan la importancia de las propuestas didácticas que articulan visualizaciones y procesos activos de construcción de representaciones, especialmente en la enseñanza de fenómenos microscópicos, que requieren la elaboración progresiva de modelos explicativos.

Estudios recientes indican que los modelos y los procesos de modelización, que constituyen prácticas centrales en la actividad científica, todavía se presentan con frecuencia en la enseñanza como representaciones listas, desvinculadas de su construcción y revisión. Campbell et al (2015) sostienen que el aprendizaje basado en la modelización debe involucrar a los estudiantes en la formulación, prueba y mejora de modelos, y no solo en la interpretación de las representaciones proporcionadas. Cuando no se trata como una práctica epistémica, la modelización tiende a reducir el aprendizaje a la memorización, lo que dificulta la construcción de comprensiones conceptuales más consistentes.

Revisiones recientes indican que la noción de modelos y modelización en la enseñanza de las ciencias no es consensuada (MORALES-GARCÉS et al., 2025). Estudios publicados entre 2019 y 2023 identifican concepciones distintas —instrumental, cognitiva y epistémica— asociadas a diferentes referenciales teóricos e implicaciones didácticas. Mientras que algunos enfoques tratan los modelos como recursos ilustrativos, otros enfatizan su papel en la organización del pensamiento o como prácticas centrales en la construcción del conocimiento científico. Estos resultados evidencian que la comprensión adoptada influye en el uso didáctico de los modelos, lo que refuerza la necesidad de referenciales que orienten de manera más sistemática la incorporación de la modelización en la planificación didáctica.

Paralelamente a los debates sobre la modelización, la literatura señala la importancia de articular la comprensión conceptual con los contextos sociales, ampliando el significado de los contenidos escolares. En este sentido, los debates sobre plásticos, microplásticos y nanoplásticos ofrecen oportunidades para integrar conocimientos de las ciencias naturales y promover la argumentación, la toma de decisiones y la conciencia socioambiental (LIMA, 2022; DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008; FERREIRA; SILVA; STAPELFELDT, 2016). Sin embargo, para que este enfoque sea eficaz, las propuestas didácticas deben contemplar tanto las dimensiones sociales y ambientales como las bases conceptuales que explican procesos como la degradación de polímeros, la formación de nanopartículas y sus interacciones con los sistemas biológicos, fenómenos que constituyen el foco de investigación de esta tesis.

En este sentido, la perspectiva CTS constituye un campo que busca comprender las interacciones entre la producción científica, el desarrollo tecnológico y la organización social, poniendo de manifiesto que estos ámbitos se constituyen mutuamente y están atravesados por valores, intereses económicos, disputas políticas e implicaciones éticas (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007; DAGNINO; SILVA; PADOVANI, 2011).

En el ámbito educativo, este enfoque contribuye a la formación ciudadana al promover la problematización de la actividad científico-tecnológica y fomentar la participación social. Los estudios que acercan el pensamiento de Paulo Freire a la Educación CTS destacan el uso de problemas socialmente relevantes como estrategia para promover reflexiones interdisciplinarias sobre el papel del conocimiento científico escolar y su relación con la realidad social (ALMEIDA; STRIEDER, 2021).

Como propuesta, la perspectiva CTS se ha incorporado en los SD que exploran cuestiones sociocientíficas, lo que permite articular conocimientos científicos y reflexiones sobre ciencia y tecnología. Las investigaciones indican que estas propuestas favorecen un mayor compromiso y comprensión sobre la naturaleza de la ciencia y la tecnología en comparación con las prácticas tradicionales, contribuyendo al análisis crítico de los impactos sociales del desarrollo científico y tecnológico (VÁZQUEZ-ALONSO et al, 2016; SANTOS; AULER, 2011).

Ricardo y Chrispino (2021), al analizar las producciones de maestrías profesionales entre 2005 y 2019, identificaron un crecimiento de las investigaciones en Educación bajo el enfoque CTS, concentradas principalmente en las regiones sudeste y sur de Brasil. Los trabajos abordan, sobre todo, la formación de docentes, la SD y la enseñanza de las ciencias en la educación básica, lo que pone de manifiesto la relevancia del tema tanto para la formación docente como para la formación científica y ciudadana de los estudiantes.

Sin embargo, a pesar del reconocimiento del enfoque CTS en la literatura, su implementación en la práctica escolar aún enfrenta obstáculos, ya que las políticas públicas, los materiales didácticos y los procesos formativos no siempre garantizan las condiciones para el desarrollo de prácticas críticas y conceptualmente consistentes (STRIEDER et al., 2016; BOUZON et al., 2018).

En este contexto, crece en el campo de la educación química el interés por la elaboración de SD orientadas a la alfabetización científica y al desarrollo de habilidades que permitan a los estudiantes comprender conceptos científicos y reconocer las dimensiones éticas y políticas de la actividad científica en situaciones cotidianas. Las investigaciones han estudiado tanto los efectos de estas secuencias en la comprensión conceptual como la

elaboración de propuestas de enseñanza que articulan conceptos científicos, fenómenos materiales y estrategias didácticas (HERNÁNDEZ; COUSO; PINTÓ, 2015; LIJNSE, 2007; MÉHEUT; PSILLOS, 2004; PAPADOURIS; CONSTANTINO, 2016; AHMAD; LAH, 2013; ARRIASSECQ; GRECA, 2012; GHIRARDI et al., 2014).

Muñoz-Campos, Franco-Mariscal y Blanco-López (2020) proponen un modelo para la elaboración de secuencias didácticas que integra prácticas científicas en contextos cotidianos. La propuesta se organiza en tres etapas: definición de principios de planificación basados en teorías del aprendizaje; elaboración del contexto de enseñanza, con delimitación del problema, objetivos, conocimientos científicos y organización de las actividades; y construcción de las actividades de aprendizaje, resultado de la articulación entre estas etapas. Este modelo se aproxima a los principios propuestos por Méheut y Psillos (2004), que también utilizan teorías del aprendizaje para orientar la práctica pedagógica a lo largo de las SD.

En lo que respecta al uso de secuencias didácticas para favorecer el aprendizaje conceptual, Ros et al. (2021) describen la elaboración e implementación de una propuesta orientada a la educación básica, organizada en torno a la pregunta "¿Cómo se construyeron las pirámides del antiguo Egipto?". Los resultados indican que, con la mediación docente, los estudiantes superaron las dificultades conceptuales y desarrollaron competencias de autorregulación y creatividad a lo largo del proceso de aprendizaje.

En una perspectiva complementaria, Silva y Arroio (2022) analizaron el uso de recursos visuales en el SD de Química, mostrando que el empleo de imágenes diversifica las actividades y favorece interacciones verbales más cualificadas, además de contribuir a la articulación entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico en la construcción del conocimiento.

Además de los impactos en el aprendizaje de los estudiantes, las investigaciones indican que la elaboración de SD también constituye un espacio formativo para profesores y futuros docentes, al promover reflexiones sobre la naturaleza del conocimiento científico y la articulación entre contenidos, contextos sociales y procesos de aprendizaje (MORAIS; BEGO; GIORDAN, 2021; MÜNCHEN; BOHRER ADAIME, 2021).

En continuidad con esta perspectiva formativa, los estudios indican que la elaboración de secuencias didácticas favorece el desarrollo profesional docente al promover procesos de reflexión sobre la articulación entre conocimientos científicos y contextos sociocientíficos. Marcondes et al. (2020) muestran que la construcción de materiales didácticos desde la perspectiva CTSA, mediada por procesos de reflexión orientada, contribuye al análisis crítico

de los enfoques adoptados por los profesores y a la producción de propuestas orientadas a la exploración de temas sociocientíficos.

De manera similar, las experiencias formativas en los cursos de Licenciatura en Química evidencian que la planificación y la elaboración de SD contextualizadas favorecen el desarrollo del pensamiento crítico y la formación para la participación ciudadana (MORENO-RODRÍGUEZ; DEL PINO, 2023), además de contribuir al aprendizaje conceptual de los estudiantes de licenciatura y a la superación de concepciones alternativas sobre los contenidos estudiados.

En el contexto de la articulación entre el SD y el enfoque CTS, Michailidi y Stavrou (2022) describen la implementación de una secuencia sobre nanotecnología en un programa de formación continua para profesores, destacando el potencial de los temas relacionados con la nanoescala para debatir las propiedades dependientes del tamaño de las partículas y sus implicaciones sociocientíficas y medioambientales, como ocurre en el caso de los nanoplasticos. Las actividades dieron prioridad a las estrategias de investigación, la modelización y el debate de las implicaciones sociocientíficas, poniendo de manifiesto el potencial de la SD para integrar el aprendizaje conceptual y la problematización de cuestiones CTS en contextos escolares.

Así, las dificultades conceptuales, representativas y de planificación también se manifiestan en la formación docente. A partir de los estudios presentados, se observa que el uso de SD con enfoque CTS se muestra prometedor tanto para la formación inicial y continua de profesores como para el aprendizaje de estudiantes de educación básica, al favorecer la argumentación, la reflexión y el análisis crítico de situaciones contextualizadas, contribuyendo a la construcción significativa de conocimientos escolares (VÁZQUEZ-ALONSO et al., 2016). En este sentido, la puesta en práctica de nuevas prácticas en el aula exige reflexiones sobre la formación docente que vayan más allá de la organización curricular, ya que el desarrollo de prácticas pedagógicas contextualizadas depende, en gran medida, de los conocimientos y las experiencias que constituyen la formación del profesor.

En este sentido, Shimada y Locatelli (2025), al investigar las transiciones entre niveles representacionales en estudiantes de licenciatura en Química, observaron que las dificultades en esta transición pueden comprometer la construcción conceptual y favorecer concepciones erróneas sobre los sistemas reactivos. Estudios recientes también indican que el aprendizaje se fortalece cuando los estudiantes participan activamente en las prácticas epistémicas de la disciplina, movilizand o de manera integrada conocimientos conceptuales, sociales y materiales. En estas situaciones, las representaciones visuales dejan de desempeñar solo una

función ilustrativa y pasan a actuar como herramientas centrales en la producción y negociación de significados científicos (SASSERON; OROFINO, 2021).

En general, la literatura reciente señala tres tendencias recurrentes: el crecimiento de las investigaciones sobre el enfoque CTS en Brasil (RICARDO; CHRISPINO, 2021); el reconocimiento del potencial formativo de las SD tanto para el aprendizaje de los estudiantes como para el desarrollo profesional docente (MÉHEUT; PSILLOS, 2004); y la persistencia de enfoques en los que el aprendizaje conceptual se produce sin una articulación coherente con los procesos de modelización y reflexión epistémica.

El análisis de los estudios revisados muestra además que las investigaciones orientadas por el enfoque CTS y las investigaciones sobre modelos y modelización se desarrollan a menudo de forma relativamente independiente. Si bien las propuestas CTS tienden a privilegiar los debates sociales y medioambientales, no siempre exploran de manera sistemática los modelos científicos que sustentan tales explicaciones. Por otro lado, los estudios centrados en la modelización enfatizan los procesos conceptuales y epistémicos, pero no siempre incorporan problemáticas sociocientíficas. Este escenario indica que la articulación entre CTS y modelización sigue siendo un campo en consolidación, especialmente en la enseñanza de la química.

La presente investigación se inscribe en este contexto al analizar las concepciones de los estudiantes de licenciatura sobre CTS y sus planes didácticos, poniendo de manifiesto las debilidades en la comprensión del papel mediador de las SD y en la articulación entre fenómenos químicos, modelos científicos, problematización y dimensiones sociales del conocimiento. Estudios recientes corroboran este diagnóstico al indicar que las intenciones sociocientíficas a menudo se debilitan cuando no se articulan con procesos de modelización y coherencia epistémica, lo que limita la construcción de explicaciones científicas consistentes y la toma de decisiones fundamentadas.

De este modo, las lagunas identificadas —superficialidad en el enfoque CTS, comprensión tecnicista de las SD y fragilidades en el uso de modelos y procesos de modelización— justifican el desarrollo de un MCEA como referente teórico metodológico para la elaboración de una propuesta de SD, que busca garantizar simultáneamente el rigor conceptual y la relevancia ciudadana en la enseñanza de las transformaciones químicas.

3 MARCO TEÓRICO

En las últimas décadas, la enseñanza de las ciencias se ha enfrentado al reto de responder a problemas sociales, medioambientales y tecnológicos cada vez más complejos, que exigen a los ciudadanos no solo la comprensión de conceptos científicos, sino también la capacidad de analizar críticamente situaciones sociocientíficas y participar en procesos de toma de decisiones informados. En este contexto, diferentes investigaciones han señalado la necesidad de replantearse el papel de la ciencia escolar, desplazando el enfoque de la mera transmisión de contenidos hacia propuestas formativas que articulen la comprensión conceptual, el análisis crítico y la participación social.

En este contexto, este capítulo presenta los referentes teóricos que fundamentan la presente investigación, organizados en cuatro ejes principales: (i) el enfoque CTS y sus objetivos formativos; (ii) el papel de las SD como unidad de planificación e intervención didáctica; (iii) las contribuciones de la perspectiva de los modelos y la modelización para la enseñanza de las Ciencias; y (iv) el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), adoptado como herramienta teórico-metodológica para la planificación y el análisis de propuestas didácticas orientadas a la comprensión de fenómenos químicos en contextos sociocientíficos.

3.1 EDUCACIÓN CTS

Los cambios que se producen en la enseñanza y en los planes de estudio suelen ser consecuencia de transformaciones en la realidad social, científica y tecnológica. En este contexto, surge el movimiento CTS, que apareció en Europa y en América del Norte, Central y del Sur a mediados de la década de 1970, en respuesta a las inquietudes de la sociedad sobre las implicaciones del desarrollo científico y tecnológico para la vida social y el medio ambiente. Acontecimientos históricos como los bombardeos nucleares de Hiroshima y Nagasaki, los accidentes nucleares de Chernóbil y Fukushima, la contaminación por cesio 137 en Brasil y la rotura de presas en Mariana y Brumadinho ponen de manifiesto que los avances científicos y tecnológicos, aunque aportan beneficios, también pueden generar impactos irreversibles de orden social y medioambiental.

Inicialmente, el movimiento CTS no se constituyó como una propuesta educativa, sino como un campo de reflexión crítica sobre el papel social de la ciencia y la tecnología. Sin embargo, los debates derivados de estas preocupaciones pusieron de manifiesto la necesidad de incorporar estas discusiones al plan de estudios escolar, promoviendo una educación

científica capaz de problematizar situaciones sociales complejas que exigen no solo conocimientos científicos, sino también una formación política orientada a la acción social (AULER, 2001). En este sentido, se consolidó un enfoque crítico-transformador que cuestiona la idea de neutralidad científica y enfatiza el compromiso social de la ciencia (SANTOS, 2002; AIKENHEAD, 2005; SANTOS; AULER, 2011; VILCHES; GIL-PÉREZ; PRAIA, 2011).

El movimiento educativo CTS se fortaleció a partir de la década de 1970 como crítica al modelo desarrollista basado en el progreso tecnológico sin restricciones. En Brasil, su consolidación se produjo principalmente en la década de 1990, con el objetivo de fomentar debates sobre las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad en la enseñanza y en la elaboración de planes de estudio que promovieran una percepción crítica del desarrollo científico y tecnológico y sus implicaciones sociales (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011).

En el campo de la educación científica, este enfoque contribuye a una formación orientada a la ciudadanía, con el objetivo de desarrollar la capacidad de toma de decisiones en contextos impregnados de ciencia y tecnología, así como la construcción de valores sociales y éticos (SANTOS; AULER, 2011). La inclusión de esta perspectiva en los planes de estudio favorece el abordaje de temas sociocientíficos, que involucran cuestiones éticas y problemas ambientales contemporáneos, permitiendo a los estudiantes utilizar los conocimientos científicos escolares en contextos no escolares y dar sentido a lo que aprenden, fortaleciendo los procesos de toma de decisiones fundamentadas (SANTOS; AULER, 2011; AIKENHEAD, 2005).

Aikenhead (2005) destaca además que las investigaciones didácticas que abordan cuestiones sociocientíficas han contribuido al desarrollo de estrategias didácticas que, aunque no siempre contemplan todas las dimensiones del plan de estudios de CTS, resultan eficaces tanto para el aprendizaje conceptual como para el desarrollo de la capacidad de toma de decisiones, permitiendo a los estudiantes reconocer la relevancia social de los conocimientos científicos estudiados.

Algunos autores discuten la inclusión de la letra "A" en la sigla —formando CTSA— y así explicitar la dimensión ambiental de este enfoque (PAULINI-JESUS; LORENZETTI; HIGA, 2015; SANTOS; MARMITT; AULER, 2015; POLANCZKY; MARMITT; SANTOS, 2015). Aunque se considera que la dimensión ambiental está implícita en las relaciones CTS, la incorporación de la "A" permite evitar el tratamiento superficial de las consecuencias ambientales del desarrollo científico y tecnológico (VILCHES; GIL-PÉREZ; PRAIA, 2011).

En este sentido, la sociedad y el medio ambiente se convierten en escenarios de aprendizaje en los que se pueden identificar temas y problemas relevantes para la investigación escolar, lo que permite la apropiación de conocimientos científicos y tecnológicos en la búsqueda de soluciones a problemas concretos, contribuyendo a la construcción de juicios de valor y procesos de toma de decisiones (RICARDO, 2007). Sin embargo, cabe destacar que el enfoque ambiental no debe limitarse a la preservación de los recursos naturales, sino que también debe incorporar las dimensiones sociales, económicas y políticas que intervienen en los problemas contemporáneos (SANTOS; AULER, 2011).

Así, al enseñar contenidos de Química desde la perspectiva CTS, se espera una construcción conceptual articulada con aspectos políticos, económicos, tecnológicos, sociales y ambientales. El conocimiento científico no debe aprenderse como un fin en sí mismo, sino como parte de un proceso formativo que contribuye a la actuación ciudadana en la sociedad. Para ello, el contexto no debe utilizarse solo como ilustración del contenido químico, sino como eje estructurante de la enseñanza, contribuyendo a la formación del estudiante para el ejercicio consciente de la ciudadanía (SANTOS; SCHNETZLER, 2000). Estos autores destacan que educar para la ciudadanía no significa solo conocer los derechos y deberes, sino garantizar la participación en las dimensiones públicas de la vida social, lo que exige no solo el dominio conceptual, sino también la comprensión de los problemas sociales que afectan a la colectividad.

Entre las posibilidades de la enseñanza contextualizada, este enfoque permite trabajar contenidos químicos articulados con cuestiones sociales/tecnológicas y fenómenos relevantes para los estudiantes. Santos y Auler (2011) afirman que el enfoque CTS favorece la inserción de cuestiones sociocientíficas en la enseñanza, ya que permite reflexionar sobre problemas éticos, tecnológicos, sociales y ambientales contemporáneos, lo que exige la movilización de conocimientos científicos para su comprensión.

Silva y Marcondes (2015) argumentan que estas contribuciones a la enseñanza de la química permiten abordar conceptos científicos a partir de temas, situaciones y fenómenos cercanos a la realidad de los estudiantes, lo que hace que el aprendizaje sea más significativo. De manera similar, Acevedo (2009) afirma que la perspectiva CTSA amplía la comprensión de los impactos sociales de la ciencia y la tecnología, favoreciendo la participación social de los estudiantes. Para Auler (2001, 2007) y Santos (2002), este enfoque presenta afinidades con la pedagogía de Paulo Freire, al organizar la enseñanza a partir de temas generadores que surgen de las realidades sociales y políticas de los estudiantes.

Sin embargo, aunque este enfoque se defiende a menudo como estrategia didáctica, su implementación no siempre promueve transformaciones efectivas en las prácticas de enseñanza cuando se utiliza solo como recurso motivacional o como ilustración inicial, sin impactar la estructura conceptual del contenido trabajado. En estos casos, los temas o fenómenos sociocientíficos se emplean de forma periférica, sin que la dimensión social influya efectivamente en el desarrollo de explicaciones científicas o en la construcción de modelos conceptuales.

Así, el enfoque CTS no se reduce a la inserción de ejemplos cotidianos, sino que implica una profunda revisión curricular y epistemológica, que exige la integración entre las dimensiones conceptuales y sociales, la articulación entre el conocimiento científico, las aplicaciones tecnológicas y los problemas reales, así como el desarrollo de procesos argumentativos y reflexivos que contribuyan a la formación ciudadana y a la comprensión crítica de la ciencia en la sociedad.

3.2 SECUENCIAS DIDÁCTICAS COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN

En este escenario, las SD emergen como una alternativa metodológica consistente para la planificación de la enseñanza de Química. A diferencia de prácticas fragmentadas y puntuales, las SD constituyen propuestas estructuradas, fundamentadas teóricamente y validadas empíricamente, cuyo objetivo es organizar progresiones de enseñanza coherentes entre objetivos de aprendizaje, actividades, conocimientos científicos escolares y procesos evaluativos (MÉHEUT; PSILLOS, 2004; MÉHEUT, 2005; LIJNSE, 2007; GUIASOLA; OLIVA, 2020; GUIASOLA; AMETLLER; ZUZA, 2021).

Esta perspectiva refuerza la comprensión de que la planificación docente no se reduce a un procedimiento técnico, sino que constituye un proceso de modelización que involucra decisiones epistemológicas, curriculares y didácticas articuladas. Así, la SD pasa a ser comprendida como unidad de organización de la enseñanza capaz de integrar fenómenos, problemas, conceptos científicos y prácticas de aprendizaje de forma progresiva e intencional.

Se puede comprender la SD como un conjunto de actividades ordenadas, estructuradas y articuladas para alcanzar determinados objetivos educativos, con inicio y fin previamente definidos por profesores y estudiantes. Zabala (1998) utiliza el término SD para describir unidades compuestas por actividades educativas organizadas con vistas al alcance de objetivos previamente definidos.

En sentido complementario, Pais (2007, p. 102) afirma que “una secuencia didáctica está formada por cierto número de clases planeadas y analizadas previamente con la finalidad de observar situaciones de aprendizaje, involucrando los conceptos previstos en la investigación didáctica”.

En este sentido, las SD pueden entenderse como arreglos intencionalmente organizados de situaciones de aprendizaje que articulan objetivos formativos, fenómenos o problemas, contenidos científicos, actividades y procesos evaluativos de modo coherente y progresivo. Una SD bien estructurada va más allá de la simple organización lineal de clases, pues involucra una lógica pedagógica capaz de promover progresión cognitiva, conflictos productivos, reconstrucción conceptual y desarrollo de competencias investigativas.

Así, la SD constituye simultáneamente instrumento didáctico-metodológico y herramienta teórica capaz de revelar concepciones docentes, racionalidades pedagógicas y comprensiones epistemológicas acerca de la ciencia y del proceso de enseñar y aprender.

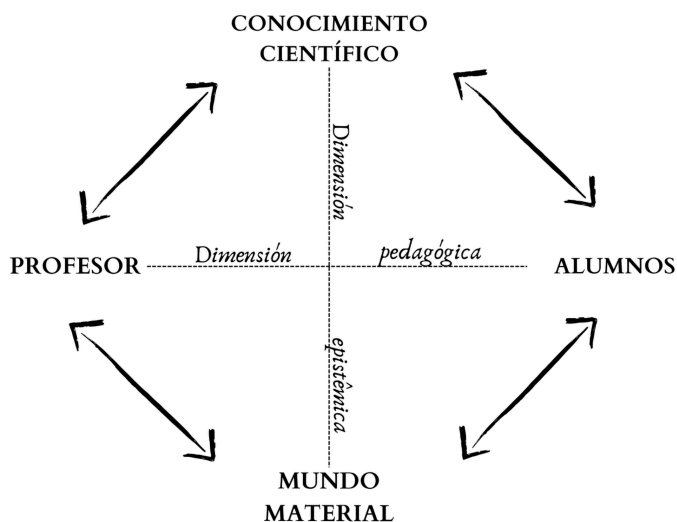
Zabala (1998) resalta aún que el modelo adoptado en la SD debe estar alineado a la fundamentación teórica asumida. En caso de adoptar una perspectiva constructivista, por ejemplo, las etapas de la secuencia necesitan promover situaciones que favorezcan la reconstrucción del conocimiento por los estudiantes.

Entre las propuestas teóricas para elaboración de secuencias de enseñanza, destaca el modelo de Teaching Learning Sequences propuesto por Méheut y Psillos (2004), que considera las concepciones previas de los estudiantes y organiza actividades que promuevan la reconstrucción conceptual (GIORDAN; GUIMARÃES; MASSI, 2012).

3.2.1 El rombo didáctico y la organización de las SD

De acuerdo con Méheut (2005), caracterizar una SD exige considerar los roles de profesores y estudiantes, además de las relaciones entre el mundo material y el conocimiento científico. Para explicitar esto, la autora propone el rombo didáctico, que destaca las dimensiones pedagógica y epistémica de la enseñanza.

Figura 1 – Representación del rombo didáctico que muestra las dimensiones pedagógicas y epistémicas en la SD



Fuente: Adaptado de Méheut (2005)

El modelo articula cuatro polos: conocimiento científico, mundo material¹, profesor y estudiantes. El conocimiento científico se expresa, en el contexto escolar, como currículo y objetivos de aprendizaje; el profesor actúa por medio de la planificación e implementación de la secuencia; los estudiantes participan mediante procesos de aprendizaje y reconstrucción conceptual; y el mundo material se refiere a los fenómenos, objetos, tecnologías y situaciones del cotidiano que dan sentido y se explican a través del conocimiento científico. Así, el rombo didáctico explicita que la enseñanza no involucra solo transmisión de contenidos, sino la construcción de relaciones entre fenómenos, conceptos y procesos de aprendizaje mediados por la acción docente.

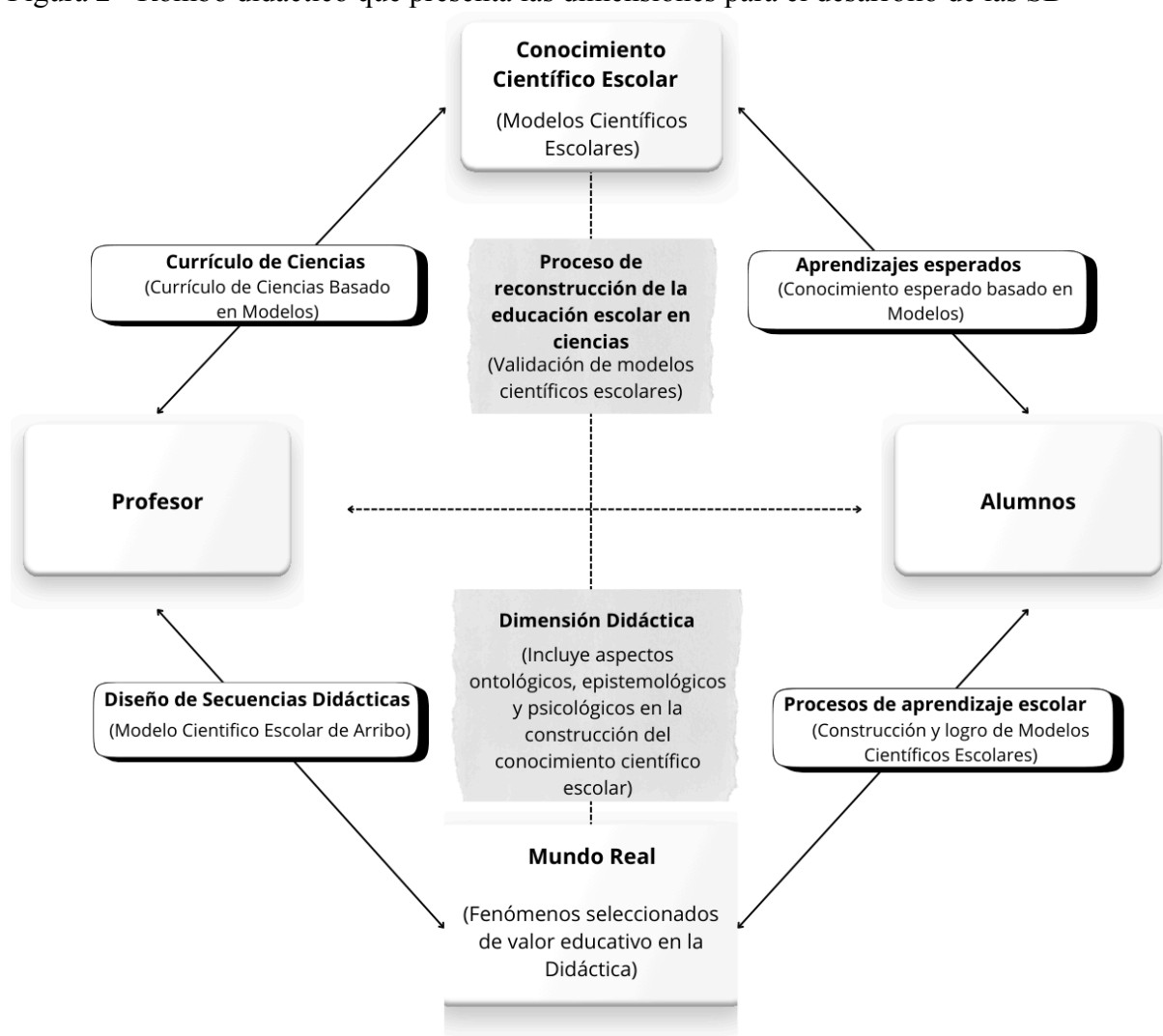
La validación de SD constituye un aspecto central en la propuesta de Méheut (2005), orientada por tres dimensiones: dimensión epistémica, relacionada con el contenido enseñado y las relaciones entre conocimiento científico y resolución de problemas propuestos; dimensión cognitiva, que considera concepciones previas de los estudiantes y las transformaciones conceptuales ocurridas a lo largo de la secuencia; dimensión pedagógica, asociada a la organización de las actividades, metodologías adoptadas e interacciones en el aula. En cuanto a los procedimientos de validación, Méheut (2005) destaca dos tipos de

¹ Por mundo material se entiende que son los fenómenos cotidianos y el contexto en que el estudiante está inserto.

evaluación: externa o comparativa, generalmente realizada mediante pre y post-pruebas; interna, que analiza la coherencia entre objetivos de la secuencia y los recorridos efectivamente desarrollados por los estudiantes.

Posteriormente, López y Mota y Moreno Arcuri (2014) ampliaron esta perspectiva al proponer una reestructuración del rombo didáctico, basada en la concepción de modelos y modelización científica. De esta forma, incorporaron de manera explícita elementos ontológicos, epistemológicos y cognitivos en la planificación didáctica, tal como se presenta en la Figura 2.

Figura 2 - Rombo didáctico que presenta las dimensiones para el desarrollo de las SD



Fuente: adaptado de López y Mota y Moreno Arcuri, 2014 y López y Mota, 2019.

Los autores adoptaron, como referencia, las dimensiones propuestas por Méheut y Psillos (2004); sin embargo, se observa que los ámbitos “conocimiento científico” y “mundo real” fueron renombrados conforme a la perspectiva del contexto escolar, introduciendo también una visión didáctica al contexto de modelos.

De este modo, la propuesta de López y Mota e Moreno Arcuri (2014) se diferencia de la de Méheut y Psillos (2004) por incorporar explícitamente una perspectiva didáctica sumada a una consideración ontológica derivada de la concepción de modelo adoptada.

La lectura de la representación inicia en el “conocimiento científico escolar”, que, en su relación con el “profesor”, se manifiesta como “currículo de ciencias”, orientando la enseñanza y los contenidos científicos trabajados en el aula. En su vínculo con los “alumnos”, este conocimiento se expresa en los “objetivos de aprendizaje” a alcanzar. Ya la relación entre “profesor” y “mundo real” se materializa en el diseño de las SD planeadas para el trabajo en clase, mientras que la interacción entre “alumnos” y “mundo real” ocurre mediante procesos de aprendizaje —modelización apoyada en modelos— desarrollados durante la implementación de dichas secuencias.

En esta relectura, el conocimiento científico escolar pasa a comprenderse en términos de modelos científicos escolares, relacionándose tanto con los fenómenos del mundo real como con los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su relación con el profesor se manifiesta en la organización curricular y en la planificación de las SD, involucrando transposición didáctica y selección conceptual para favorecer la comprensión de los fenómenos estudiados. Ya la relación con los estudiantes evidencia la necesidad de identificar concepciones previas y modelos explicativos iniciales, ya sea mediante instrumentos diagnósticos o por el análisis de la literatura sobre dificultades de aprendizaje.

Las interacciones de profesores y estudiantes con el mundo material se expresan, respectivamente, en la elaboración de SD que aproximan contenidos científicos a contextos concretos y en los procesos por los cuales los estudiantes construyen modelos explicativos para interpretar fenómenos reales. Así, el rombo didáctico reestructurado pasa a orientar simultáneamente la planificación, la implementación y la validación de SD fundamentadas en la modelización científica.

En el modelo presentado en la Figura 2, las expresiones entre paréntesis corresponden al diseño de las SD en el contexto escolar. La tríada inferior del rombo didáctico constituye, en la propuesta de López y Mota y Moreno Arcuri (2014), una orientación para la planificación y validación de dichas secuencias. La relación entre “profesor” y “fenómenos seleccionados con valor educativo” se manifiesta en la elaboración de los Modelos Científicos Escolares de Arriba (MCEA), elemento central de la propuesta. Ya la interacción entre “alumnos” y tales fenómenos se expresa en la construcción, en el aula, de modelos científicos escolares que permiten validar las SD mediante la comparación entre MCEA y MCEL. Este proceso posibilita, en última instancia, revisar el conocimiento científico escolar expresado en

el currículo y en las aprendizagens pretendidas, con base en evidencias empíricas de su viabilidad en el aula.

El autor defiende que las aprendizajes esperados pueden ser reconceptualizados cuando la planificación de la enseñanza se fundamenta en modelos y procesos de modelización. Esta reconceptualización puede evaluarse cuando las aprendizajes previstas se prueban mediante SD basadas en modelos, comparando los resultados obtenidos con el conocimiento científico escolar establecido en el currículo. En este movimiento, tales conocimientos pasan por procesos de reconstrucción a partir de la validación de los modelos científicos escolares desarrollados con el uso del MCEA.

La elaboración de la secuencia exige, por lo tanto, un estudio previo de las concepciones de los estudiantes, análisis de las dificultades conceptuales y definición clara de los objetivos de aprendizaje, de modo que las actividades, orientadas por el MCEA, favorezcan la construcción y la validación de modelos científicos escolares capaces de relacionar el conocimiento científico con los fenómenos seleccionados con valor educativo.

3.2.2 Secuencias Didácticas y aprendizaje conceptual

El modelo de elaboración y validación de SD adoptado en esta investigación se fundamenta en una perspectiva constructivista, de acuerdo con la cual el profesor organiza el conocimiento científico en torno a situaciones-problema para promover la reconstrucción conceptual por parte de los estudiantes. Durante el desarrollo de la secuencia, la interacción entre estudiantes y la mediación docente favorecen la participación activa y la construcción colectiva de explicaciones. Al final del proceso, se espera que los estudiantes logren generalizar los conocimientos contruidos a nuevas situaciones-problema con características semejantes.

Diversas investigaciones han evidenciado contribuciones de las SD para la comprensión de conceptos químicos, como se demuestra en estudios de Pérez, Galindo y Galli (2021), Canac y Kermen (2020), Muñoz-Campos, Franco-Mariscal y Blanco-López (2020), Arriasecq, Cayul y Greca (2017), Papadouris y Constantinou (2016), Hernández, Couso y Pintó (2015), Ghirardi et al. (2014), Ahmad y Lah (2013) y Arriasecq y Greca (2012). Tales investigaciones muestran que la correlación entre mundo material y conocimiento científico escolar posibilita superar dificultades conceptuales frecuentemente reportadas en la literatura.

Estas contribuciones se hacen visibles en los modelos explicativos contruidos por los estudiantes antes y después de la intervención didáctica, evidenciando procesos de reconstrucción conceptual promovidos por las secuencias.

En este marco, la enseñanza mediada por modelos científicos asume un papel central, comprendiendo que los modelos no son copias de la realidad, sino construcciones teóricas históricamente situadas, con funciones explicativas y predictivas (BEZERRA, 2011; QUÍLEZ, 2004; QUÍLEZ, 2009). Involucrar a los estudiantes en la construcción y revisión de modelos contribuye a superar visiones positivistas de la ciencia y fortalecer el razonamiento causal (AKCAY; YAGER, 2016; PAPADOURIS; CONSTANTINOU, 2016; ROS et al., 2022).

3.2.3 Secuencias Didácticas y formación docente

La elaboración e implementación de SD también desempeñan un papel importante en la formación docente, pues hacen explícitas las concepciones sobre enseñanza, aprendizaje y ciencia movilizadas por los profesores. La planificación de secuencias exige decisiones relativas a la selección de fenómenos, organización conceptual, estrategias didácticas y procesos evaluativos, favoreciendo la reflexión docente sobre la propia práctica.

Es en esta intersección entre Educación CTS, modelización científica y SD donde se sitúa la presente investigación. Se parte del entendimiento de que la enseñanza de Ciencias necesita simultáneamente garantizar profundidad conceptual, promover comprensión crítica de las relaciones CTS y favorecer la construcción de modelos mentales más elaborados por los estudiantes.

Investigar procesos de planificación fundamentados en modelos teóricos que articulen dimensiones epistemológicas, ontológicas y curriculares dialoga con propuestas como el Modelo de Reconstrucción Educativa (DUI et al., 2012), enfoques basados en demandas cognitivas (VIRII; SAVINAINEN, 2008) y pesquisas que articulan planificación, implementación y validación de SD (MÉHEUT, 2004; GUIASOLA; AMETLLER; ZUZA, 2021; MUÑOZ-CAMPOS; FRANCO-MARISCAL; BLANCO-LÓPEZ, 2020).

Al asumir esta perspectiva, se busca contribuir a una educación científica humanística, crítica y socialmente referenciada (SANTOS, 2007; 2008; AULER, 2001), preservando la centralidad del conocimiento científico escolar como herramienta para comprender el mundo material.

3.3 MODELOS, MODELIZACIÓN Y MCEA

Ante este escenario, se hace necesario recurrir a referentes teórico-metodológicos capaces de orientar la organización curricular y epistemológica de propuestas de enseñanza que articulen modelos científicos y aprendizaje basado en fenómenos. Entre estas contribuciones, destaca el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), que integra dimensiones científica, curricular y estudiantil para orientar la planificación y validación de SD fundamentadas en la modelización.

El MCEA fue propuesto por primera vez en 2011 en un encuentro de profesores de ciencias. En 2013, en el IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Ángel D. López y Mota y Diana P. Rodríguez Pineda presentaron el estudio “Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas”, que buscaba contribuir a la discusión sobre formas de respaldar teóricamente modelos y modelización en la concepción, desarrollo, explicación y evaluación de estrategias didácticas. Los autores establecieron el concepto de MCEA y consideraron que la herramienta permite orientar la planificación de las estrategias didácticas y evaluar los resultados alcanzados con dichas estrategias mediante el uso del Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).

De esta forma, presentaron directrices para la planificación de estrategias didácticas y parámetros para evaluar el progreso de los modelos escolares producidos en las aulas, buscando ofrecer un referencial teórico-metodológico para identificar, comparar y establecer metas didácticas considerando los aspectos cognitivos de los alumnos, la planificación curricular del contenido de enseñanza y el conocimiento científico en que se basa dicha planificación. En síntesis, presentaron una solución teórico-metodológica para planear, elaborar y evaluar estrategias didácticas o SD en el ámbito de las ciencias, fundamentada en el referencial de modelo y modelización, del campo de la Didáctica de las Ciencias (López y Mota; Rodríguez-Pineda, 2013).

Al año siguiente, 2014, mediante el artículo “Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación”, los investigadores Ángel D. López y Mota y Griselda Moreno Arcuri presentaron el MCEA como un referencial teórico-metodológico para obtener criterios de planificación y validación de SD fundamentada en modelos y modelización. La elaboración del MCEA como referencial es producto de un trabajo de teorización y aplicación didáctica con profesores de Ciencias Naturales que integran los programas de maestría profesional y doctorado de la Universidad

Pedagógica Nacional (Ajusco) de México (López y Mota; Moreno-Arcuri, 2014). Así, el MCEA puede ser un dispositivo innovador y potente para el campo de la Educación Química en la actualidad.

Al considerar la línea de investigación sobre SD, el MCEA se origina a partir de diversas necesidades, tales como: establecer una referencia para el desarrollo de una estrategia de intervención didáctica; y disponer de criterios para la planificación y validación de SD.

En palabras de López y Mota (2019), “el MCEA es un dispositivo teórico-metodológico dentro del campo de investigación sobre secuencia didáctica” (p. 59). Con este dispositivo se pretende fundamentar el concepto teórico de “modelo científico escolar” al considerarlo como una “hipótesis-directriz para la planificación de la secuencia didáctica” (p. 59), dado que se convierte en “la ‘fuente’ de generación de los criterios de planificación de las secuencias didácticas, así como el ‘molde’” (p. 59) en que se evalúa aquello que se alcanzó con el desarrollo de la SD.

El MCEA tensiona el pensamiento espontáneo de los alumnos, la planificación curricular y el conocimiento científico establecido, pues se consideran los elementos requeridos para la planificación de las actividades de la SD. Estas dimensiones se expresan en función de los siguientes modelos:

a. Modelo Estudiantil Inicial (MEI): evidencia las representaciones de los alumnos en relación con un fenómeno científico de valor educativo. Estas representaciones pueden recolectarse mediante la investigación de sus conceptualizaciones espontáneas, por ejemplo.

b. Modelo Curricular (MCu): es la representación evidenciada en el currículo y que explica el fenómeno en cuestión, siendo un modelo derivado del modelo científico. Esta representación se identifica por un proceso inferencial sobre el contenido presente en el currículo.

c. Modelo Científico (MCi): es la representación científica expresada mediante modelos para explicar el fenómeno seleccionado. Es un modelo fundamentado en el conocimiento científico de nivel superior e identificado por la búsqueda en libros de enseñanza superior.

La tensión entre estos tres modelos posibilita postular el MCEA. Esto ocurre a partir del análisis de las semejanzas y diferencias entre ellos en relación con las entidades, propiedades, relaciones causales y expresiones de comportamiento generales sobre el fenómeno. De esta manera, el MCEA se convierte en un parámetro para la planificación y validación de una SD elaborada para la modelización de un determinado fenómeno, objeto de estudio en el nivel educativo en que se pretende implementarla.

López y Mota (2019) mencionan que el MCEA presenta las siguientes funciones: a. parámetro para evaluar el aprendizaje alcanzado tras la implementación de la SD; b. parámetro para derivar los criterios de planificación de la SD con el objetivo de articularlos con los criterios teóricos presentes en el MCEA, si se implementan en las actividades cognitivas a desarrollarse con los estudiantes; c. directriz a evaluarse con la finalidad de validar la SD de acuerdo con los resultados de los estudiantes –en forma de modelos– al finalizar la SD.

Al proponer la tensión entre MCi, MCu y MEI, el MCEA permite construir referencias para seleccionar entidades, propiedades, relaciones causales e inferencias necesarias a la explicación de fenómenos de interés educativo, garantizando simultáneamente coherencia epistémica, relevancia curricular y aproximación con el pensamiento de los estudiantes.

En esta perspectiva, el referencial teórico adoptado en esta investigación sostiene que la enseñanza de Ciencias —y, particularmente, la enseñanza de Química— demanda planificación intencional, fundamentada teóricamente, articulada a la naturaleza del conocimiento científico y sensible a las demandas sociales contemporáneas. La SD, cuando se comprende como instrumento epistemológico y didáctico, y el enfoque CTS, cuando se asume de forma crítica, constituyen pilares importantes para promover aprendizajes profundos, desarrollo del pensamiento crítico y formación ciudadana. Sin embargo, para que estas propuestas se concreten, es imprescindible que se anclen en modelos explicativos sólidos, capaces de articular conceptos en una red coherente de significados.

La presente investigación se justifica, por lo tanto, por la necesidad de comprender cómo futuros profesores conciben, planean y estructuran SD y por la urgencia de construir alternativas formativas que auxilien en la superación de visiones transmisivas, de neutralidad científica y de fragilidad epistémica. Al movilizar el MCEA como herramienta teórico-metodológica, se busca promover innovación en la planificación didáctica, considerando la modelización como estrategia para la construcción del conocimiento científico escolar y para el desarrollo de interpretaciones fundamentadas de los fenómenos estudiados.

La construcción de propuestas de enseñanza fundamentadas en la modelización exige, sin embargo, una comprensión rigurosa de la naturaleza de los modelos científicos, de sus roles epistémicos y de sus posibilidades didácticas. Así, al considerar el MCEA como aparato teórico-metodológico de planificación curricular, se hace necesario anclarlo en la literatura que discute modelos y modelización tanto en la ciencia como en la enseñanza. El MCEA no es simplemente un dispositivo organizativo o esquema didáctico, sino que incorpora

presupuestos epistemológicos y ontológicos sobre cómo el conocimiento científico se produce, valida, transpone y reconstruye en contextos educativos.

En la filosofía y en la didáctica de las ciencias, el concepto de modelo científico va más allá de la idea de representación fiel de la realidad. Giere (1988, 2004) argumenta que los modelos establecen relaciones de similaridad parcial entre estructuras teóricas y sistemas reales, permitiendo explicar, prever e interpretar fenómenos. Así, no se trata de copias de la realidad, sino de construcciones intelectuales que seleccionan determinados aspectos de los sistemas estudiados, poseyendo límites y condiciones de validez. Comprender un fenómeno implica, por lo tanto, comprender el modelo que lo explica y las razones de su adecuación a un determinado contexto y finalidad.

En la misma dirección, Justi (2006, 2015) destaca que los modelos cumplen múltiples funciones en el hacer científico, sirviendo para explicar fenómenos, comunicar ideas, generar hipótesis y orientar investigaciones. Para la autora, enseñar ciencias a partir de modelos implica posibilitar que los estudiantes aprendan a construir, evaluar, revisar y utilizar modelos, aproximándose a prácticas científicas auténticas. La modelización, por lo tanto, no se restringe a la presentación de modelos listos, sino que involucra explícitamente los procesos de su construcción y revisión.

Complementariamente, Knuuttila (2011, 2017) propone comprender los modelos como artefactos epistémicos, es decir, herramientas materiales y conceptuales que permiten pensar fenómenos, manipular situaciones y producir conocimiento. Esta concepción refuerza que los modelos científicos escolares no son solo simplificaciones conceptuales, sino dispositivos cognitivos que orientan la construcción de explicaciones y el desarrollo del razonamiento causal por parte de los estudiantes.

En este contexto, el MCEA surge como propuesta que integra perspectivas epistemológicas de la modelización científica a las necesidades curriculares y cognitivas del contexto escolar. Basado en los principios de Gutiérrez (2007) y López y Mota y colaboradores, el MCEA considera que un modelo debe contemplar dimensiones ontológicas —entidades y propiedades del fenómeno— y epistemológicas —relaciones causales y mecanismos explicativos—, articuladas a la forma en que los estudiantes interpretan y atribuyen sentido a los fenómenos científicos. Así, el MCEA organiza el conocimiento científico escolar de modo cognitivamente accesible y epistemológicamente consistente.

En esta línea, el modelo ONEPSY desarrollado por Gutiérrez permite profundizar esta articulación al incorporar, junto a las dimensiones ontológica y epistemológica, una dimensión psicológica que regula los mecanismos de construcción y reconstrucción del

conocimiento. Desde este enfoque, los sujetos elaboran modelos mentales a partir de una primera representación en la que seleccionan entidades y propiedades relevantes del sistema (ontología), y construyen posteriormente modelos causales que organizan las relaciones entre dichas entidades conforme a principios de causalidad, explicación y predicción (epistemología) (GUTIÉRREZ; OGBORN, 1997; GUTIÉRREZ, 2001).

Este enfoque ha sido retomado y desarrollado en estudios más recientes, los cuales han evidenciado empíricamente su potencial para analizar y promover cambios en los modelos mentales de los estudiantes en contextos de interacción dialógica, destacando la relación entre construcción de modelos, regulación del aprendizaje y motivación intrínseca (GUTIÉRREZ; ALIBERAS; IZQUIERDO, 2021).

Estos modelos pueden ser “ejecutados” mediante simulaciones mentales que permiten anticipar el comportamiento del sistema y evaluar su correspondencia con la realidad. Cuando el modelo no alcanza niveles suficientes de coherencia, correspondencia o robustez, se desencadenan procesos de reconstrucción orientados a restablecer el equilibrio cognitivo. En este proceso, las creencias ontológicas y epistemológicas implícitas de los sujetos juegan un papel central, ya que condicionan tanto la selección de entidades como la interpretación de las relaciones causales, influyendo directamente en la significatividad del aprendizaje y en las posibilidades de cambio conceptual (GUTIÉRREZ, 2007).

Desde esta perspectiva, el MCEA puede interpretarse como una operacionalización didáctica de estas dimensiones, en la medida en que traduce los criterios ontológicos y epistemológicos de los modelos científicos en parámetros para la planificación curricular, al tiempo que reconoce la dimensión psicológica implicada en los procesos de aprendizaje y reconstrucción de los modelos por parte de los estudiantes.

A diferencia de los planes que solo seleccionan contenidos o actividades, el MCEA establece criterios epistemológicos para definir qué entidades, propiedades y relaciones causales deben movilizarse, así como qué inferencias necesitan desarrollar los estudiantes para comprender el fenómeno en profundidad. De esta forma, contribuye a superar prácticas fragmentadas y transmisivas, promoviendo una enseñanza que articula fenómenos, teoría y contexto, en consonancia con perspectivas de reconstrucción educativa discutidas por Reinders Duit.

Adoptar el MCEA implica reconocer que aprender ciencias involucra participar en procesos de modelización y reconstrucción conceptual mediados por planificación docente fundamentada. Al integrar dimensiones científica, curricular y cognitiva, el MCEA constituye

un instrumento consistente para calificar la planificación de SD, sobre todo cuando se busca articular comprensión conceptual y problematización de fenómenos socialmente relevantes.

Las decisiones docentes relacionadas con la organización de contenidos y estrategias frecuentemente están orientadas por modelos didácticos, aun cuando de forma implícita. Hacerlos explícitos, como discuten Sjöström, Eilks y Talanquer (2020), favorece el desarrollo profesional docente y la implementación de prácticas fundamentadas en investigación. En este sentido, la proposición del MCEA en este estudio busca ofrecer un referencial que organice la elaboración de SD orientadas a la comprensión de fenómenos químicos complejos.

López-Mota (2019) destaca además que las SD pueden expresar aprendizajes esperados previstos en el currículo y que estos aprendizajes pueden reconceptualizarse cuando la planificación se fundamenta en modelos y modelización. Esta reconceptualización se evalúa cuando los resultados obtenidos con la implementación de la SD se comparan con los conocimientos científicos escolares previstos en el currículo, permitiendo validar y, si necesario, reconstruir tales conocimientos. López-Mota (2019) menciona que las SD pueden proporcionar información sobre los aprendizajes esperados, de acuerdo con el currículo de la educación básica o superior.

Esta perspectiva se representa en el rombo didáctico propuesto por López y Mota y Moreno Arcuri (2014), presentado anteriormente. La tríada profesor-alumno-mundo real orienta específicamente la planificación y validación de las SD, destacando la elaboración del MCEA como referencia para la selección de fenómenos y la construcción de modelos escolares que permitan evaluar los resultados alcanzados.

El análisis de los referentes discutidos evidencia que propuestas de enseñanza orientadas por el enfoque CTS demandan no solo la contextualización de contenidos, sino la construcción de explicaciones científicas consistentes, capaces de articular fenómenos, modelos e implicaciones sociales del conocimiento científico. En este sentido, las SD fundamentadas en procesos de modelización se configuran como alternativas prometedoras para promover aprendizajes conceptuales profundos y formación crítica de los estudiantes.

Sin embargo, los estudios presentados en el capítulo anterior indican que, tanto en la formación inicial como en la práctica docente, persisten dificultades relacionadas con la articulación entre fenómenos, modelos científicos y dimensiones sociocientíficas, así como fragilidades en la planificación de propuestas didácticas que integren tales dimensiones de modo coherente. Así, la presente investigación se sitúa en la interfaz entre educación CTS, modelización científica y formación docente, buscando comprender cómo futuros profesores movilizan tales referentes al planear propuestas de enseñanza y de qué manera el uso del

MCEA puede contribuir para calificar procesos de elaboración de SD orientadas a la comprensión de fenómenos químicos socialmente relevantes.

4 METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló mediante un enfoque metodológico cualitativo, estructurado para permitir una comprensión profunda de los significados atribuidos por los participantes a sus experiencias vividas, así como el análisis de las producciones generadas a lo largo del proceso investigativo. El diseño metodológico adoptado resultó coherente con los objetivos y el problema de investigación, permitiendo la interpretación de fenómenos educativos complejos, marcados por múltiples dimensiones teóricas, didácticas y epistemológicas.

El proceso de investigación se organizó en dos fases interrelacionadas. La primera se centró en el análisis de las secuencias didácticas desarrolladas por estudiantes de grado en Química, haciendo hincapié en las características de la formación en CTS y sus implicaciones para la formación docente. Con base en los resultados de esta etapa inicial, se identificaron debilidades conceptuales y epistemológicas que requirieron una reorientación del estudio. Esto condujo a la segunda fase de la investigación, centrada en la profundización teórica y metodológica y en el desarrollo de criterios para la planificación de secuencias didácticas basadas en un modelo de referencia para el fenómeno investigado.

A pesar de esta reorientación, la investigación mantuvo su coherencia interna, preservando el enfoque cualitativo y exploratorio, así como la articulación sistemática entre datos empíricos, marcos teóricos y procedimientos analíticos. A continuación, se detallan el diseño metodológico de la investigación, el objeto de estudio, los principios éticos adoptados y las etapas de producción y análisis de datos.

4.1 ¿CÓMO SE DISEÑÓ LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y QUÉ PRINCIPIOS GUIARON ESTA ELECCIÓN?

Esta investigación se desarrolló mediante un enfoque metodológico cualitativo, estructurado para permitir una comprensión profunda de los significados atribuidos por los participantes a sus experiencias vividas, así como el análisis de las producciones generadas a lo largo del proceso investigativo. El diseño metodológico fue elegido a partir de la definición de los objetivos de la investigación y del problema de investigación, pues permitió la interpretación de fenómenos educativos complejos, marcados por múltiples dimensiones teóricas, didácticas y epistemológicas.

La elección de un enfoque cualitativo se basa en la necesidad de emplear diversas técnicas interpretativas para comprender y decodificar las claves presentes en sistemas complejos de significado, como el material producido por los participantes, sus percepciones del proceso y su conocimiento del tema, expresado a través de diálogos con la investigadora. Este enfoque nos permitió traducir los significados atribuidos al objeto de estudio y establecer relaciones entre la teoría y los datos, así como entre el contexto y la acción (FLICK, 2009).

Considerando el problema de investigación y los fundamentos teóricos que la sustentan, se optó por un diseño exploratorio. Esta elección se justifica por el hecho de que las relaciones entre los planteamientos CTS y los MCEA no están sistematizadas en la literatura consultada, lo que requiere un mapeo inicial del campo y la construcción de un nuevo discurso interpretativo sobre el objeto investigado (GROPPO; MARTINS, 2006; MINAYO et al., 2009; HERNÁNDEZ et al., 2013).

La investigación se estructuró en dos fases integradas. En la primera, se examinó el material didáctico desarrollado por estudiantes de química de pregrado, buscando comprender las características del enfoque CTS y sus implicaciones para la formación docente. Los resultados de esta etapa señalaron inconsistencias conceptuales y lagunas en la precisión del contenido científico, lo que resalta la necesidad de un mayor desarrollo teórico y metodológico.

En la fase posterior, los esfuerzos se centraron en definir criterios orientadores para la planificación de secuencias didácticas, a partir de un modelo de referencia adecuado al fenómeno investigado. Esta profundización se produjo a través de la elaboración y tensión entre el MCi, el MCu y el MEI, culminando en la construcción del MCEA.

Este enfoque metodológico, de carácter flexible y emergente, es coherente con los supuestos de la investigación cualitativa, en la que el diseño puede ajustarse a medida que nuevos datos y análisis revelen demandas teóricas y metodológicas no previstas inicialmente, sin comprometer el rigor científico del estudio.

4.2 ¿QUIÉN Y QUÉ CONSTITUYÓ EL OBJETO DE ESTUDIO Y DE QUÉ MODO SE ASEGURARON LOS PRINCIPIOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN?

El objeto de estudio de esta investigación está constituido por sujetos, producciones y modelos explicativos relacionados con la planificación de secuencias didácticas con enfoque

CTS y la construcción de un modelo científico escolar de referencia de un fenómeno natural de valor educativo.

En la primera etapa de la investigación, nueve estudiantes de grado de Química de una universidad federal del sur de Minas Gerais participaron en la investigación; cinco eran mujeres y cuatro hombres, todos voluntarios y firmantes del Formulario de Consentimiento Informado. La invitación se extendió personalmente a los estudiantes matriculados y cursantes del curso de Laboratorio de Enseñanza de Química III, en el que la investigadora realizó 25 horas de actividades, dentro de la carga horaria asignada al Componente Práctico del Currículo (CPC). El curso tiene una carga horaria total de 255 horas, distribuidas entre actividades teóricas, prácticas y prácticas curriculares.

Los criterios de inclusión se definieron de la siguiente manera: ser estudiante matriculado regularmente en los últimos semestres de la Licenciatura en Química, haber cursado al menos el curso de Didáctica y aceptar participar voluntariamente en todas las etapas de la investigación mediante la firma del Consentimiento Informado. Se excluyó a los estudiantes no matriculados o con irregularidades en el programa, así como a los estudiantes en los primeros semestres.

En la segunda etapa de la investigación, el objeto de estudio se amplió para incluir datos documentales científicos y curriculares, así como datos escolares empíricos producidos por estudiantes de tercer año de secundaria de una escuela ubicada en el sur de Minas Gerais. Estos datos sustentaron la construcción del MEI, que posteriormente se articuló con los modelos científicos y curriculares.

Todos los procedimientos de investigación se llevaron a cabo de acuerdo con los principios éticos que rigen la investigación con seres humanos. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación (CAAE n.º).66956423.7.0000.5142. Luego de la aprobación, se puso en contacto con el profesor responsable del curso para presentar la propuesta de investigación y solicitar permiso para hablar con los estudiantes de pregrado.

La investigación se presentó detalladamente a los participantes, abarcando los objetivos, las etapas, los procedimientos de recolección de datos, las formas de análisis, así como las garantías de confidencialidad, anonimato y voluntariedad. Se enfatizó que la participación podía interrumpirse en cualquier momento sin perjuicio académico. Si bien todos los estudiantes completaron las actividades propuestas en el curso, solo se utilizaron en la investigación los datos de quienes dieron su consentimiento formal para participar.

Durante todo el proceso de investigación, se garantizó el anonimato de los participantes mediante la codificación de datos y la supresión de información que pudiera

permitir su identificación. Los datos generados se utilizaron exclusivamente con fines académicos, garantizando la confidencialidad, la privacidad y el respeto a los derechos de los participantes.

4.2.1 Contexto de la investigación: caracterización del escenario y de los participantes

Los participantes de esta investigación fueron estudiantes matriculados en el séptimo y octavo semestre del curso de Licenciatura en Química de la Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). La elección de estos semestres se relaciona con el itinerario formativo previsto en el Proyecto Pedagógico del Curso, el cual indica que, en este momento de la formación, los licenciandos ya han tenido contacto tanto con conocimientos específicos del área de Química como con componentes curriculares orientados a la formación y a la práctica docente.

En el currículo del curso, la temática Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) se aborda en el programa de la asignatura Laboratorio de Enseñanza de Química I, ofertada en el sexto semestre. Sin embargo, el documento no presenta una referencia directa al estudio o a la elaboración de secuencias didácticas (SD). Otro factor que fundamentó esta elección es que, a partir de estos semestres, los estudiantes comienzan a cursar asignaturas que articulan conocimientos del área específica con reflexiones sobre la práctica docente, así como inician las actividades de prácticas supervisadas obligatorias, que se extienden a lo largo de los semestres siguientes. Estas experiencias proporcionan a los licenciandos contacto con el contexto escolar y con las demandas de la planificación de actividades de enseñanza, contribuyendo al desarrollo de propuestas didácticas.

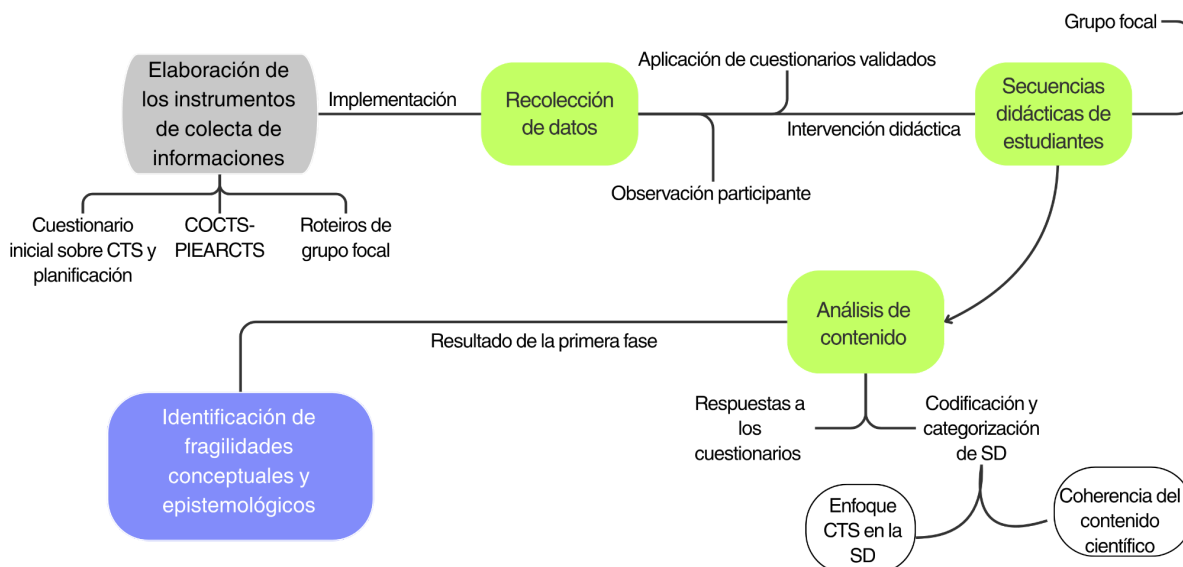
Además, los estudiantes del séptimo y octavo semestre participan en actividades vinculadas a componentes curriculares que incluyen la Práctica como Componente Curricular (PCC), cuya finalidad es promover la articulación entre teoría y práctica en la formación docente. En el contexto de esta investigación, el estudio se desarrolló en el ámbito de la PCC.

4.3 ¿CÓMO SE CONFIGURARON LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN EN TÉRMINOS DE CORPUS EMPÍRICO E INSTRUMENTOS DE PRODUCCIÓN DE DATOS?

En esta sección se describen los pasos de la investigación en cuanto a la constitución del corpus empírico, los instrumentos y procedimientos de producción de datos y las técnicas

de análisis adoptadas. Para ofrecer una visión general del diseño de la investigación, se presentan a continuación dos esquemas que sintetizan las etapas y relaciones entre los elementos del estudio.

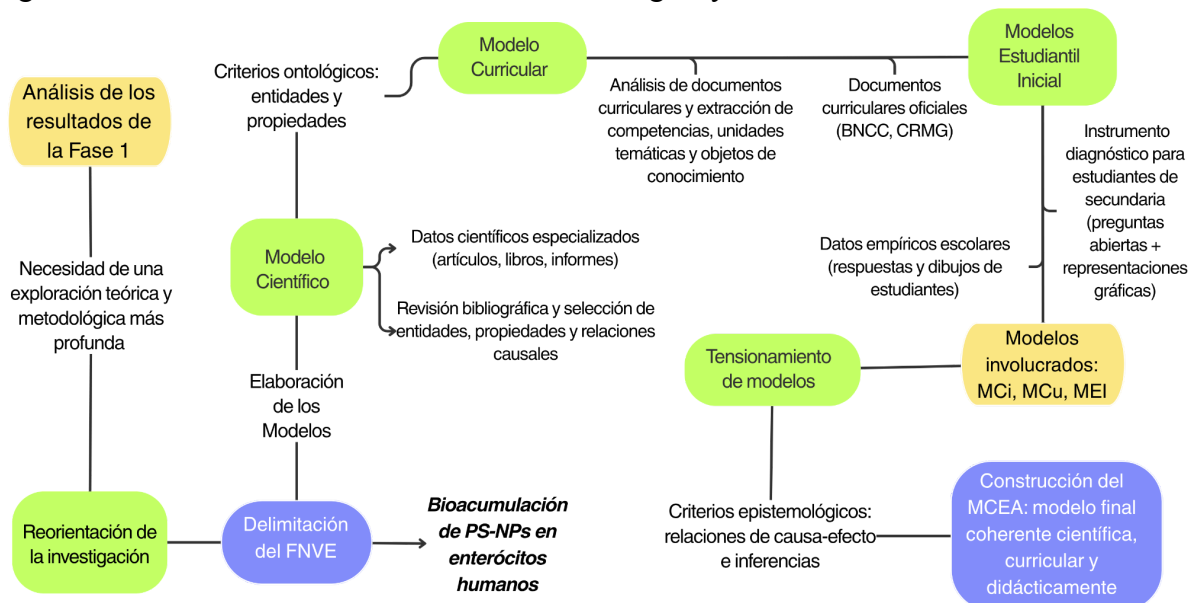
Figura 3 - Fase 1: Análisis de secuencias didácticas de estudiantes de Química



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 presenta de forma general el proceso de producción y análisis de datos, destacando la relación entre la elaboración de instrumentos, la recolección de datos y el análisis de contenido, que permite la identificación de fragilidades conceptuales y epistemológicas.

Figura 4 - Fase 2: Profundización teórico-metodológica y construcción del MCEA



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la Figura 4 sintetiza el proceso de construcción y articulación de modelos teóricos y empíricos, evidenciando la interacción entre el modelo científico, el modelo

curricular y los modelos estudiantiles iniciales, así como el proceso de tensionamiento que conduce a la construcción del modelo final.

4.3.1 Primera parte de la investigación: análisis de las secuencias didácticas y del enfoque CTS

¿Qué datos constituyeron el corpus empírico de esta primera etapa de la investigación?

La primera fase de la investigación utilizó como corpus empírico un conjunto diverso de datos, constituido por: (i) secuencias didácticas elaboradas por estudiantes de pregrado de la carrera de Licenciatura en Química; (ii) respuestas a un cuestionario inicial sobre concepciones relacionadas con la planificación de secuencias de enseñanza y la formación en CTS (ver Apéndice 1); (iii) respuestas al Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS-PIEARCTS) (ver Apéndice 2); y (iv) registros producidos a partir de un grupo focal (Apéndice 6) realizado al final de las actividades.

El propósito de este conjunto de datos fue analizar las características de la formación en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) presentes en las secuencias didácticas desarrolladas por los participantes y comprender las implicaciones de este proceso para la formación inicial de estos futuros docentes. La diversidad del corpus permitió acceder tanto a las producciones docentes como a las concepciones, percepciones y evaluaciones construidas por los estudiantes de magisterio a lo largo de la experiencia investigativa.

¿Cómo se recolectaron los datos y a través de qué procedimientos e instrumentos?

Como procedimiento inicial en la primera etapa de la investigación, se realizó una revisión bibliográfica sobre la enseñanza de la Química y su relación con los temas y secuencias didácticas de CTS, con el fin de apoyar el desarrollo de instrumentos de recolección de datos y orientar los criterios analíticos adoptados. La profundización teórica resultante de esta revisión se presenta en el capítulo 2.

Paralelamente, se realizó un análisis del currículo de Química de los participantes con el objetivo de comprender el contexto formativo en el que se sitúa la investigación e identificar en qué momentos de la formación inicial se abordan las discusiones sobre la formación en CTS y la planificación de secuencias didácticas. Este análisis indicó que la temática CTS se aborda en el sexto semestre, en la asignatura Laboratorio de Enseñanza de

Química I, aunque el estudio y la elaboración de secuencias didácticas no están explicitados en el currículo.

Los datos de la primera etapa se obtuvieron a partir de tres fuentes principales: (a) registros escritos de las SD desarrolladas por los participantes; (b) observación participante, registrada en un diario de campo; y (c) cuestionarios sobre concepciones relacionadas con el enfoque CTS y la planificación de secuencias didácticas, incluyendo el COCTS. El uso combinado de estos instrumentos permitió la triangulación de la información, contribuyendo a la consistencia analítica de la investigación.

El instrumento citado COCTS (Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad) se basa también en su adaptación brasileña PIEARCTS. Estos instrumentos derivan del VOSTS (Views On Science-Technology-Society), pero se diferencian por incorporar una estructura cuantitativa de análisis, que permite el cálculo de índices de actitud (IAM), los cuales expresan el grado de adecuación epistemológica de las concepciones de los respondentes en relación con temas relativos a Ciencia-Tecnología-Sociedad y a la Naturaleza de la Ciencia.

Los ítems presentados a los participantes siguen el formato de afirmaciones categorizadas en “adecuadas”, “plausibles”, “cercanas” e “ingenuas”, conforme a la clasificación propuesta por los autores del COCTS, y evaluadas en escala tipo Likert. A partir de las respuestas, se calcula el Índice de Actitud Media (IAM), que varía de valores negativos, indicando actitudes epistemológicamente ingenuas, hasta valores positivos, indicando concepciones más alineadas con perspectivas actuales de la Educación en Ciencias.

Se adoptó la observación participante porque implicaba la interacción directa del investigador con los participantes y con el fenómeno investigado, lo que permitía comprender las acciones y los significados atribuidos por los sujetos a lo largo del proceso. Este tipo de observación se realizó sin la adopción inicial de categorías teóricas rígidas, las cuales se construyeron progresivamente durante la investigación, según lo recomendado por Groppo y Martins (2006). Las observaciones se registraron sistemáticamente en un diario de campo, incluyendo el rol del investigador, las circunstancias de la participación, los instrumentos utilizados, los hechos observados y la formulación de hipótesis interpretativas.

El diario de campo, llevado en forma manuscrita, constituyó un instrumento central de la investigación, auxiliando en la recuperación de información relevante durante las etapas de delimitación del fenómeno investigado, planificación y evaluación de las secuencias didácticas, como destacan Minayo et al. (2009).

Los cuestionarios utilizados fueron validados previamente para garantizar la claridad y precisión de los términos, la idoneidad del formato y el orden de las preguntas, así como la calidad de la introducción de los instrumentos (GIL, 2008). Inicialmente, estos cuestionarios se aplicaron para recopilar las concepciones de los participantes sobre temas CTS y la planificación de SD.

Tras esta etapa preliminar de levantamiento de concepciones, se realizó una intervención didáctica, desarrollada a partir de las actividades descritas en el Tabla 2 (Apéndice 5). Para cada actividad, se elaboraron estudios teóricos que fundamentaron los presupuestos de la investigación, abordando aspectos como la caracterización de cuestiones sociocientíficas, la importancia de identificar los conocimientos previos de los estudiantes y los principios que orientan la elaboración de secuencias didácticas con enfoque CTS. La intervención fue diseñada bajo la perspectiva del 'isomorfismo pedagógico'², utilizando una SD sobre el tema "Lámparas" para que los licenciarios vivenciaran las etapas de una propuesta sociocientífica en condición de estudiantes, mientras reflexionaban críticamente, respaldados por la literatura del área, sobre los presupuestos teóricos y metodológicos que sustentan la planificación didáctico.

Concluida la intervención, los participantes elaboraron sus propias secuencias didácticas. Al final de este proceso, se realizó un grupo focal con el objetivo de comprender las percepciones de los participantes acerca de la experiencia vivenciada durante la planificación de las secuencias didácticas y sus posibles efectos para la formación docente. El grupo focal se llevó a cabo en dos encuentros, siendo el primero presencial, en el Laboratorio de Enseñanza de Química, y el segundo de forma remota, mediante la plataforma Google Meet®, debido a dificultades de organización de horarios al final del semestre lectivo.

El grupo focal se condujo de forma no directiva, conforme a las orientaciones de Gatti (2005), correspondiendo a la investigadora solo encaminamientos relacionados con el tema e intervenciones que favorecieran los intercambios entre los participantes. Los encuentros fueron grabados en audio y video, con el consentimiento de los participantes, asegurando el sigilo de la información y la preservación de la identidad de los sujetos. Además de las grabaciones, se realizaron registros en el diario de campo, de modo que complementaran información que no sería captada solo por los registros audiovisuales.

² El término isomorfismo pedagógico se refiere a una estrategia en la formación de profesores en la que el docente formador utiliza, en su práctica, las mismas aproximaciones, metodologías y presupuestos que desea que los futuros profesores aprendan y apliquen en sus prácticas profesionales (LUCINDO, 2012; ALMEIDA e BIAZOTTO, 2007). En el contexto de esta investigación, se refiere a la vivencia de la SD por parte de los participantes bajo la misma perspectiva metodológica que deberán utilizar en sus planeaciones.

Las grabaciones de las reuniones y del grupo focal se transcribieron y organizaron íntegramente para conformar el corpus empírico de la investigación. Inicialmente, las declaraciones transcritas se organizaron en relatos y opiniones. Posteriormente, se sometió el material a las etapas de análisis de contenido, incluyendo la exploración del material, la codificación y la categorización de la información de las discusiones del grupo focal.

¿Cómo se analizaron los datos y qué criterios orientaron la construcción de las categorías analíticas adoptadas en la investigación?

El análisis de los datos de la primera etapa tuvo como objetivo comprender los sentidos atribuidos por los participantes a las experiencias vivenciadas a lo largo del proceso investigativo, con especial atención a los efectos formativos provenientes de la planificación y elaboración de secuencias didácticas con enfoque CTS.

Se analizaron las intervenciones producidas en el grupo focal, los registros del diario de campo y los materiales elaborados por los participantes, buscando identificar percepciones, comparaciones y evaluaciones construidas a partir de la articulación entre la formación teórica ofrecida por el curso de Licenciatura en Química y la experiencia práctica desarrollada durante la intervención didáctica.

De modo particular, el análisis evidenció comparaciones realizadas por los participantes entre el estudio teórico de la planificación didáctica y el acto de planear efectivamente una SD, revelando tensiones, dificultades y aprendizajes asociados a este proceso. Estas comparaciones permitieron problematizar lagunas en la formación inicial, especialmente en lo que se refiere a la transposición del conocimiento teórico a la práctica pedagógica y a la planificación de propuestas didácticas orientadas en el enfoque CTS.

El material fue analizado mediante la técnica de Análisis de Contenido, conforme a la propuesta de Bardin (2016), siguiendo las etapas de pre análisis, exploración del material y tratamiento de los resultados, con inferencia e interpretación. Inicialmente, se procedió a la organización del corpus y a la lectura exploratoria inicial de las intervenciones transcritas, permitiendo una primera aproximación con los significados expresados. Posteriormente, se llevó a cabo la codificación y la construcción progresiva de categorías analíticas, en diálogo con el marco teórico de la investigación y con las regularidades identificadas en los datos, caracterizando un modelo de análisis mixto.

El análisis de las secuencias didácticas se fundamentó en criterios teóricos previamente definidos, organizados en dos ejes analíticos. El primer eje correspondió al

análisis de la coherencia del contenido científico movilizado en las propuestas didácticas, considerando aspectos como la claridad y coherencia de los conceptos, el uso y función de los modelos científicos y la articulación entre el contenido escolar y el fenómeno investigado. Los criterios, evidencias, indicadores y niveles de coherencia adoptados en esta etapa se encuentran sistematizados en la Tabla 4.

Tabla 4: Criterios para analizar la coherencia del contenido científico de las SD

Análisis de la coherencia del contenido científico			
Criterio	Evidencia	Indicador	Análisis
<i>Contenidos científicos escolares</i>	Especifica el contenido científico que se aborda.	Presenta el contenido de manera organizada y pertinente al fenómeno, permitiendo realizar explicaciones, predicciones e interpretaciones fundamentadas del fenómeno o situación problemática.	La claridad y la consistencia del contenido indican un alto grado de coherencia.
<i>Modelos</i>	Uso de modelos o representaciones con funciones descriptivas o explicativas.	Descriptivo: representaciones desconectadas del fenómeno o situación-problema o utilizados solo como ilustraciones. Explicativo: modelos utilizados para prever, explicar y justificar comportamientos o propiedades del fenómeno o	La ausencia de modelos o el uso de modelos desconectados del/de fenómeno/situación-problema indican fragilidades y un bajo grado de coherencia. Modelos utilizados con función descriptiva indican grado mediano de coherencia.

		situación-problema.	Modelos utilizados con función explicativa indican alto grado de coherencia.
<i>Articulación entre contenido y fenómeno</i>	Muestran evidencia de que el fenómeno se comprende, interpreta y explica a la luz del conocimiento científico escolar.	El contenido científico se utiliza para explicar, predecir o interpretar el fenómeno.	La integración entre el fenómeno, el contenido y los modelos indica un alto grado de coherencia. Cuando el contenido no sirve para explicar o comprender el fenómeno, indica un bajo grado de coherencia.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esos criterios, fue posible identificar diferentes niveles de coherencia en las propuestas didácticas analizadas, permitiendo problematizar no solo la presencia o ausencia de contenidos científicos, sino sobre todo el modo como este contenido fue movilizado para explicar fenómenos y situaciones-problema.

El segundo eje analítico se concentró en el análisis del enfoque CTS presente en las secuencias didácticas. En esta etapa, se consideraron aspectos como la naturaleza del tema o problema inicial, la contextualización social y tecnológica, la pertinencia del conocimiento científico movilizado, el retorno crítico a la cuestión social y el enfoque predominante de la propuesta. Los criterios e indicadores utilizados para este análisis se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Criterios para analizar el enfoque CTS de SD

Dimensión evaluada	Definición del criterio	Indicadores analíticos
Problema/Tema	Identificar el tema o problema inicial. En las propuestas de CTS, el punto de partida debe abordar cuestiones sociales vinculadas al conocimiento científico y tecnológico.	¿Cuál es el tema/problema abordado en la SD?

Contextualización	Identificar si el tema/problema se explora en profundidad en sus aspectos sociales y tecnológicos antes de la introducción del contenido científico.	¿Se explora el tema/problema en sus dimensiones sociales y tecnológicas antes que en sus aspectos científicos?
Conocimientos científicos específicos	Verificar la conexión entre el contenido científico y el tema/problema que estructura la SD.	En qué medida el conocimiento científico se relaciona con el tema o asunto inicial?
Regreso a la sociedad	Verificar si la SD aborda el problema inicial, integrando el conocimiento científico y tecnológico, para promover la reflexión, la reevaluación de la situación y/o la toma de decisiones.	¿Concluye la SD el ciclo de abordar el tema y revisar el problema? ¿Hay un retorno a la cuestión social a través del conocimiento científico y tecnológico?
Enfoque de la propuesta	Identificar el enfoque predominante del SD (C, T, S, CT, CS o CTS), considerando la naturaleza de las actividades y las relaciones que se establecen en los tres ejes.	¿El enfoque principal es científico (C), social (S), tecnológico (T) o enteramente CTS?

Fuente: Elaboración propia.

La utilización de estos criterios permitió clasificar el enfoque predominante de las propuestas y discutir en qué medida las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad fueron efectivamente integradas en la planificación didáctica.

Después de definir esos criterios, las secuencias didácticas fueron codificadas (SD1, SD2, SD3...), de modo a preservar el anonimato de los participantes, conforme a las directrices éticas de la investigación. Cada SD se analizó según los dos ejes definidos, organizándose los resultados en tablas que presentan las evidencias empíricas, los indicadores analíticos y las interpretaciones correspondientes, lo que permitió una discusión articulada con el marco teórico.

La categorización mantuvo un carácter cualitativo e inductivo, atento a la complejidad de las interpretaciones producidas por los participantes (FLICK, 2009). Las categorías

analíticas se construyeron a partir de la identificación de unidades temáticas y se organizaron según criterios teóricamente fundamentados, considerando la práctica docente como un campo estructurado por la relación entre el profesor, el estudiante, el conocimiento científico escolar y el mundo material.

El análisis de esta primera etapa evidenció fragilidades conceptuales y epistemológicas en las producciones de los participantes, aspecto que resultó más crítico que el propio enfoque CTS de las propuestas. Este diagnóstico fue fundamental para el redireccionamiento teórico-metodológico de la investigación, dando paso a la segunda etapa, en la que se profundizó en la construcción de un modelo de referencia capaz de guiar la planificación de secuencias didácticas con mayor coherencia científica.

¿En qué medida los resultados de la primera etapa de la investigación requirieron una exploración teórica y metodológica más profunda que reorientó la investigación hacia la adopción del MCEA como herramienta orientadora para la segunda etapa?

Este resultado llevó a reflexionar sobre la necesidad de garantizar una mayor coherencia y precisión en el contenido científico utilizado en las prácticas didácticas, considerando que el enfoque CTS presupone la interpretación de los problemas a la luz del conocimiento científico, y no con base en concepciones del sentido común. Dadas las limitaciones identificadas en la primera etapa de la investigación, se hizo necesaria una exploración teórica y metodológica más profunda dentro del propio procedimiento metodológico de la investigación.

En este contexto, durante mi estancia doctoral en México, consolidé la fase de profundización teórica y metodológica que sustenta la segunda fase de esta investigación. Bajo la dirección del profesor Dr. Ángel D. López y Mota, fue posible estructurar el modelo de referencia utilizado para explicar el fenómeno de la bioacumulación de partículas de PS-NP en el cuerpo humano. Ese proceso implicó el desarrollo del Modelo Científico utilizado (MCi), el Modelo Curricular presente programas de estudio (MCu) y el Modelo Estudiantil Inicial (MEI) relativos al FNVE, así como la tensión entre ellos, etapa necesaria para la elaboración del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) del FNVE investigado.

A partir de ese movimiento analítico, se definieron las etapas de modelización que orientaron la derivación de los criterios empleados en la planificación de una SD presentada en este trabajo. Esa construcción conceptual y procedimental constituyó un

momento central en la transición entre la primera y la segunda etapas de la investigación, ya que proporcionó la base metodológica para la formulación de los criterios de planificación de las secuencias didácticas, basados en un modelo de referencia del fenómeno.

Para la parte metodológica de la segunda etapa de la investigación, se describirán con mayor detalle los procesos de desarrollo de los modelos (MEI, MCi y MCu) y del dispositivo MCEA.

4.3.2 Segunda parte de la investigación: reformulación del enfoque y elaboración de criterios para la planificación de secuencias didácticas

La segunda etapa de la investigación se configuró como una profundización teórico-metodológica derivada de los resultados obtenidos en la primera etapa. Como se evidenció en el análisis de las secuencias didácticas elaboradas por los participantes, las fragilidades identificadas no se limitaron al enfoque CTS de las propuestas, sino que afectaron significativamente la coherencia conceptual y epistemológica del contenido científico utilizado. Este diagnóstico exigió una reorientación del camino investigativo, lo que condujo a la adopción de un dispositivo metodológico capaz de garantizar una mayor precisión científica y, simultáneamente, la adecuación didáctica al contexto de la Educación Básica.

En este contexto, la segunda etapa de la investigación se centró en desarrollar criterios para la planificación de secuencias didácticas a partir de un modelo de referencia para un fenómeno investigado, mediante la construcción y tensión entre tres modelos: MCi, MCu y MEI, culminando en la formulación del MCEA.

¿Qué datos constituyeron el corpus empírico de esta segunda etapa de la investigación?

El *corpus* empírico de la segunda etapa de esta investigación estuvo constituido por tres conjuntos de datos distintos y complementarios, seleccionados y producidos a partir del Fenómeno Natural de Valor Educativo (FNVE), definido como la bioacumulación de nanoplasticos de poliestireno (PS-NPs) en enterocitos humanos. Estos datos sirvieron de base para el desarrollo, análisis y examen de los tres modelos ya mencionados que estructuran esta fase de investigación.

El primer conjunto de datos consta de documentos científicos especializados, incluyendo artículos científicos, libros, informes técnicos, opiniones y publicaciones académicas de la literatura nacional e internacional. Estos documentos se utilizaron para la construcción del MCi y posibilitaron la identificación de las entidades, las propiedades, las relaciones de causa y efecto y las inferencias necesarias para explicar el fenómeno de la degradación del poliestireno, la formación de nanoplásticos, el transporte sistémico y la internalización celular. La información extraída de ese conjunto de datos se organizó y se presentó en tablas y figuras que sintetizan las relaciones causales e inferenciales que estructuran el modelo, detalladas en la subsección dedicada a los instrumentos utilizados en esta etapa.

El segundo conjunto de datos consta de documentos curriculares oficiales, en concreto la Base Curricular Nacional Común (BNCC) y el Currículo de Referencia de Minas Gerais (CRMG), ambos referentes a la educación secundaria. Estos documentos constituyeron el corpus documental para la elaboración del MCu y permitieron la identificación de competencias, habilidades, unidades temáticas y objetos de conocimiento relacionados con la FNVE, especialmente en los componentes curriculares de Química y Biología. La información extraída de estos documentos se organizó en hojas de cálculo comparativas, presentadas en tablas que describen la estructura analítica adoptada para cada documento curricular.

El tercer conjunto de datos corresponde a las ideas expresadas por estudiantes de tercer año de secundaria de una escuela ubicada en el sur de Minas Gerais sobre la FNVE. Este conjunto de datos incluye respuestas textuales y representaciones gráficas (dibujos) creadas por los estudiantes con base en un instrumento de diagnóstico abierto, diseñado específicamente para investigar sus concepciones espontáneas sobre los procesos de degradación de polímeros y la bioacumulación de nanoplásticos en el cuerpo humano (Apéndice 7). Estos datos respaldaron la construcción del MEI y se organizaron en hojas de cálculo que sistematizan las respuestas de los estudiantes.

Así, el *corpus* empírico de esta segunda etapa de la investigación está compuesto por datos documentales científicos, datos documentales curriculares y datos empíricos escolares, todos organizados a través de instrumentos analíticos explícitos –tablas y figuras– que permiten visualizar sistemáticamente cómo los datos fueron estructurados, analizados y utilizados a lo largo del proceso investigativo.

¿Cómo se recolectaron los datos y a través de qué procedimientos e instrumentos?

El primer paso consistió en definir la FNVE de forma lo más específica posible, estableciendo el interés investigativo en *Bioacumulación de nanoplásticos de poliestireno (PS-NP) en enterocitos humanos*. La elección de este fenómeno se fundamenta en su carácter contemporáneo, emergente y complejo, así como en su relevancia científica, socioambiental y educativa. Además, el FNVE aborda directamente temas relacionados con la contaminación por plásticos, la salud humana y las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, aspectos recurrentes en los debates mantenidos durante la primera etapa de la investigación y en las propuestas desarrolladas por los participantes.

La delimitación del FNVE orientó la selección de los datos científicos especializados utilizados para la construcción del MCi. Para ello, se realizó una revisión de la literatura científica mediante búsquedas en bases de datos reconocidas como SciELO, ScienceDirect y Google Académico, empleando conjuntos de palabras clave en portugués, inglés y español relacionadas con la degradación de polímeros, la formación de micro y nanoplásticos, la toxicidad, la citotoxicidad, la bioacumulación y el poliestireno. La selección de textos consideró criterios de relevancia científica, adecuación al fenómeno investigado y potencial explicativo de los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados.

Para la organización de la información obtenida en los documentos científicos especializados, se utilizó el instrumento estructurante del MCi, presentado en el Tabla 6, que permitió explicitar los constituyentes ontológicos y epistemológicos del modelo científico, así como las inferencias asociadas a cada relación establecida.

Tabla 6 - Instrumento estructurante del MCi

Modelo Científico				
FNVE	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos			
	<u>Pregunta guía</u> - ¿Qué MCi explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?			
	<u>Condiciones del sistema</u> - polímero de poliestireno en agua a cielo abierto, expuesto a radiación ultravioleta por períodos que varían de meses a años, pudiendo bioacumularse en los alimentos.			
MCi	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Entidades	Propiedades	Relación de causa y efecto	Inferencia

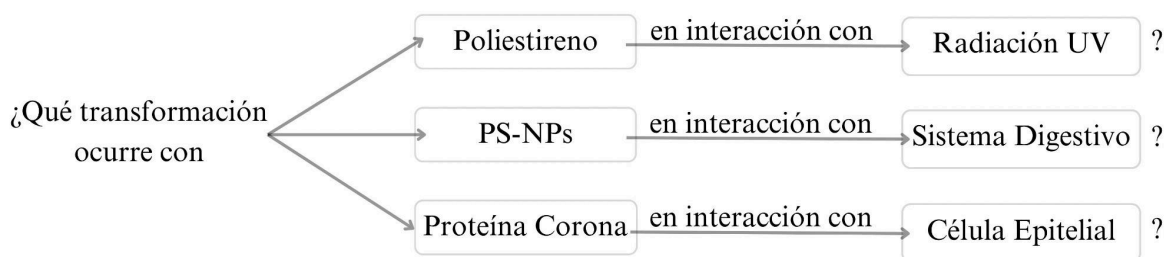
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la literatura reveló que la explicación de la FNVE implica, de forma articulada, al menos tres modelos científicos complementarios: (i) el modelo de degradación de polímeros, que describe los procesos físicos y químicos responsables de la fragmentación del poliestireno; (ii) el modelo de transporte y distribución sistémicos, que explica la movilidad de los nanoplasticos en el medio ambiente y en el organismo; y (iii) el modelo de internalización celular, que aborda los mecanismos mediante los cuales los nanoplasticos interactúan con las células humanas y son internalizados por ellas. Estos modelos, en conjunto, respaldan la comprensión del fenómeno en su totalidad, si bien presentan un nivel de complejidad propio de la educación superior.

A partir de la identificación de estos modelos, se seleccionaron las entidades, propiedades y relaciones de causa y efecto necesarias para explicar la FNVE, reconociendo que no todos los elementos presentes en la literatura científica serían adecuados para el contexto de la Educación Básica.

Para determinar las relaciones de causa y efecto, se consideraron las principales entidades que conforman el fenómeno, abarcando tanto las transformaciones que ocurren en el polímero desechado en el ambiente como los procesos que culminan en la bioacumulación celular. Como ejemplo de esta sistematización, destaca la figura 5, que representa el proceso de construcción de relaciones de causa y efecto.

Figura 5 - Relaciones establecidas a partir de las transformaciones que ocurren en el Poliestireno.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidas las relaciones de causa y efecto, fue posible inferir cómo se produce la degradación del poliestireno al exponerse a la radiación UV, así como sus posibles implicaciones para la salud humana derivadas de la ingestión o absorción de estas partículas por el cuerpo. En este proceso de construcción de datos, se consideraron dimensiones ontológicas y epistemológicas para sustentar la explicación de la bioacumulación de nanopartículas de poliestireno (NP-PS) en enterocitos humanos.

El siguiente modelo a desarrollar fue el MCu, en el cual, a partir del análisis de documentos curriculares oficiales, fue posible identificar las entidades, relaciones y enfoques

que interactúan con la FNVE, así como las posibilidades de inserción del fenómeno en el contexto escolar.

Se procedió entonces a la identificación del área del conocimiento y de los componentes curriculares más directamente relacionados con el FNVE, con destaque para las disciplinas de Química y Biología. A continuación, se mapearon las competencias generales y específicas, las habilidades, las unidades temáticas y los objetos de conocimiento que presentan relación directa o indirecta con los procesos de degradación de polímeros, contaminación por plásticos, interacciones entre materiales y ambiente, e impactos a la salud humana.

Para sistematizar esta información, se desarrollaron herramientas analíticas específicas para cada documento curricular. La Tabla 7 presenta la organización de la información extraída de la BNCC, mientras que la Tabla 8 sistematiza los datos del CRMG. Estas herramientas permitieron explicar cómo las entidades y relaciones identificadas en los documentos curriculares pueden contribuir a la explicación de la FNVE en el contexto de la Educación Básica.

Tabla 7– Organización de las entidades de la FNVE y relaciones dentro de la BNCC.

Documento	Base Nacional Comum Curricular	
FNVE	<u>Pregunta guía</u> - ¿Qué MCu explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?	
	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos	
	<u>Condiciones del sistema</u> -Polímero de poliestireno en cuerpos de agua a cielo abierto, expuesto a la radiación ultravioleta por un lapso de tiempo de meses a años que pueden bioacumularse en los alimentos	
Área de conocimiento	Competências específicas	Habilidades
Ciencias Naturales y sus Tecnologías		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8– Organización de las entidades de la FNVE y relaciones en CRMG.

Documento	Currículo de Referência de Minas Gerais
FNVE	<u>Pregunta guía</u> -¿Qué MCu explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?

	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos			
	<u>Condiciones del sistema</u> - Polímero de poliestireno en cuerpos de agua a cielo abierto, expuesto a la radiación ultravioleta por un lapso de tiempo de meses a años que pueden bioacumularse en los alimentos			
Área de conocimiento	Habilidades específicas	Habilidades	Unidad temática	Objeto de conocimiento
Ciencias Naturales y sus Tecnologías				

Fuente: elaboración propia, 2025.

A partir de un análisis comparativo de estos documentos, se desarrolló un instrumento resumen, presentado en la Tabla 9, que integra la información curricular relevante para la construcción del MCu. Este instrumento permitió una visualización articulada de las entidades, las relaciones de causa y efecto y las inferencias presentes en el currículo prescrito, considerando las especificidades y convergencias entre la BNCC y el CRMG, y explicitando los componentes ontológicos y epistemológicos movilizados en la elaboración del modelo curricular.

Tabla 9– Una herramienta de síntesis para la construcción del MCu.

Modelo curricular				
FNVE	<u>Pregunta guía</u> -¿Qué MCu explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?			
	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos			
	<u>Condiciones del sistema</u> - Polímero de poliestireno en cuerpos de agua a cielo abierto, expuesto a la radiación ultravioleta por un lapso de tiempo de meses a años que pueden bioacumularse en los alimentos			
MCu	Constituyente ontológico		Constituyente epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones de causa y efecto	Inferencia

Fuente:Elaboración propia.

En los documentos de la BNCC y del CRMG, fue posible identificar y extraer las entidades relacionadas con el FNVE; sin embargo, no se localizaron informaciones explícitas acerca de las propiedades asociadas a cada entidad. Para construir relaciones de causa y efecto, se desarrolló una tabla analítica en el que se establecieron los efectos resultantes de la interacción de cada entidad con otras. A partir de esas asociaciones, se formularon enunciados explicativos que describen, de forma articulada, las relaciones de causalidad entre las entidades. Un ejemplo de este proceso de construcción de relaciones de causa y efecto se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10 –Construcción de relaciones causales basadas en entidades FNVE en el currículo.

Entidad 1	Relación	Entidad 2	Efecto	Relación de causa y efecto
Polímero	Expuesto a	Radiación	forma nanomaterial	El polímero expuesto a la radiación forma un nanomaterial.

Fuente:Elaboración propia, 2025.

Las inferencias se elaboraron a partir de las entidades identificadas en el currículo y de las relaciones de causa y efecto establecidas entre ellas en el modelo. De esa forma, la inferencia tiene como finalidad articular la información presente en el modelo y deducir qué conclusiones pueden formularse, con base en los datos curriculares, para explicar el fenómeno en estudio. Se trata, por tanto, de un proceso lógico que integra entidades, propiedades y relaciones causales, permitiendo avanzar hacia interpretaciones más amplias y coherentes sobre el FNVE, en el contexto de la educación básica.

Un ejemplo de este proceso de elaboración inferencial se presenta a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11– Construcción de inferencias derivadas de las entidades y relaciones del MCu

Entidad	Propiedad	Relación de causa y efecto	Inferencia
Nanomaterial	-	Si el nanomaterial entra en contacto con el sistema digestivo, atraviesa la membrana celular.	El nanomaterial que atraviesa la membrana celular provoca bioacumulación.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo curricular desarrollado a partir de este proceso reúne información sobre los componentes curriculares que abordan el fenómeno de la degradación de polímeros, la formación de nanoplásticos y la bioacumulación asociada a la ingestión de estos materiales.

Con la finalización de esta etapa, se concluye la sistematización del modelo curricular, construido a partir del análisis de documentos oficiales.

Posteriormente, la investigación prosigue con el desarrollo del MEI, un paso destinado a identificar las representaciones que utilizan los estudiantes al explicar el fenómeno en estudio. Estos datos se obtuvieron mediante un instrumento de diagnóstico explicativo de preguntas abiertas, diseñado específicamente para esta investigación. El instrumento se concibió con base en supuestos teóricos que defienden la importancia de acceder a las ideas previas de los estudiantes como punto de partida para la construcción del conocimiento científico escolar, así como para favorecer la explicación de entidades, relaciones de causa y efecto e inferencias que utilizan los sujetos al explicar fenómenos naturales.

La elección de este método de recolección de datos se justifica por la falta de información consolidada en la literatura sobre las conceptualizaciones desarrolladas por estudiantes de secundaria para explicar el fenómeno de la bioacumulación de nanoplásticos en células humanas. Dada esta brecha, se hizo necesario desarrollar un instrumento capaz de obtener, con la mínima interferencia posible del investigador, los elementos explicativos movilizados espontáneamente por los estudiantes. Este instrumento comprende solo una etapa del proceso metodológico para desarrollar el MEI, según lo propuesto por los estudios de modelización en educación científica (GILBERT; JUSTI, 2016; JUSTI, 2006), y constituye la base para identificar los componentes movilizados por los estudiantes para explicar el fenómeno.

La construcción del instrumento se guió por una concepción de modelo basada en componentes ontológicos (entidades y propiedades) y epistemológicos (relaciones, mecanismos, causalidades e inferencias), como se discute en la investigación nacional e internacional sobre modelos y modelado (GILBERT, 2004; JUSTI; GILBERT, 2002; MORTIMER et al., 1998). Esta perspectiva también se relaciona con la noción de modelos mentales como representaciones internas utilizadas por los individuos para interpretar fenómenos (JOHNSON-LAIRD, 1983; GRECA; MOREIRA, 2002). Por lo tanto, el instrumento fue diseñado para fomentar la manifestación de estos modelos mentales y explicaciones espontáneas, permitiendo el análisis de cómo los estudiantes organizan y articulan entidades, propiedades y relaciones al representar el fenómeno de la bioacumulación.

El instrumento se sometió a un proceso de validación que buscó equilibrar dos requisitos metodológicos: (i) garantizar la claridad y la coherencia en la presentación del fenómeno de referencia, evitando ambigüedades que pudieran comprometer la interpretación

de las respuestas; y (ii) preservar la transparencia necesaria para evitar dirigir indebidamente las explicaciones de los estudiantes. Esta preocupación coincide con estudios que destacan la importancia de los instrumentos no directivos para acceder a las concepciones espontáneas y al razonamiento causal de los estudiantes (ALIBERAS et al., 2021; DRIVER et al., 1994).

El instrumento diagnóstico se estructuró en dos versiones distintas, ambas orientadas a la investigación de aspectos complementarios del FNVE. La primera versión tuvo como foco los procesos de degradación de polímeros en el ambiente, buscando identificar cómo los estudiantes comprenden la fragmentación de materiales plásticos y los factores que influyen en ese proceso. La segunda versión se concentró en la bioacumulación de nanoplásticos en el organismo humano, investigando las explicaciones de los estudiantes sobre las vías de entrada, el transporte y los posibles efectos de esos materiales en el cuerpo humano. Ambas versiones se formularon de modo a no dirigir las respuestas, permitiendo que los estudiantes expresaran libremente sus concepciones (Apéndice 7).

Además de las respuestas escritas, el instrumento solicitó a los estudiantes crear representaciones gráficas (dibujos) que ilustraran sus explicaciones. La inclusión de estas representaciones se justifica por su potencial para revelar aspectos de las concepciones de los estudiantes que no siempre se explicitan mediante el lenguaje escrito, especialmente en lo que respecta a la organización espacial de las entidades y las relaciones que se establecen entre ellas.

La organización de los datos empíricos escolares se operacionalizó a través de un instrumento desarrollado en esta investigación, sistematizado en la Tabla 12, que explica los pasos y elementos considerados en la interpretación de las respuestas textuales y representaciones gráficas producidas por los estudiantes.

Tabla 12 – Estructura del instrumento para la organización e interpretación de los datos empíricos escolares en la elaboración del MEI

Etapas	Datos	Acción realizada	Objetivo
1	Respuestas a la primera pregunta	Registrar las respuestas en la hoja de cálculo e identificar la presencia o ausencia de reconocimiento del fenómeno de degradación del polímero.	Verificar si el estudiante reconoce la etapa de degradación de la FNVE.
2		Interpretación de las respuestas a la primera pregunta.	Identificar cómo el estudiante explica el proceso de degradación del polímero.
3	Dibujos realizados por los alumnos	Insertar las representaciones gráficas producidas por los estudiantes en la hoja de cálculo.	Registrar cómo se representa visualmente el fenómeno.

4		Identificar si el proceso de bioacumulación se reconoce o no en el cuerpo humano a partir de representaciones gráficas.	Verificar si el estudiante representa bioacumulación en el organismo humano.
5		Interpretación de representaciones gráficas producidas por los estudiantes	Identificar entidades y relaciones para explicar el proceso representado.
6	Respuestas a la segunda pregunta	Registrar las respuestas en la hoja de cálculo e identificar la presencia o ausencia de reconocimiento del proceso de bioacumulación en el cuerpo humano.	Verificar si el estudiante reconoce el proceso de bioacumulación.
7		Interpretación de las respuestas a la segunda pregunta.	Identifique cómo el estudiante explica el proceso de bioacumulación.
8	Respuestas y dibujos	Identificar las entidades utilizadas por los estudiantes para explicar los fenómenos.	Registrar las entidades involucradas en las explicaciones de los estudiantes.
9	Respuestas, dibujos e interpretaciones	Desarrollar relaciones de causa y efecto en el formato "si... entonces..."	Sistematizar las explicaciones causales construidas por los estudiantes.
10	Conjunto de pasos previos	Sistematización del MEI	Integrar la información obtenida en los pasos anteriores y construir el MEI a partir de los datos empíricos.

Fuente: elaboración propia.

Tras la aplicación del instrumento, las respuestas textuales y los dibujos se organizaron en planillas analíticas, de modo a posibilitar un análisis sistemático y comparativo de los datos. Para esa organización, se elaboró un instrumento estructurante, presentado en la tabla 13, que permitió registrar, para cada estudiante, las entidades movilizadas, las relaciones de causa y efecto establecidas y las inferencias implícitas o explícitas en sus explicaciones.

El análisis de los datos escolares empíricos se guió por categorías analíticas definidas a priori, con base en el marco teórico y los objetivos de la investigación. Las respuestas de los estudiantes se clasificaron según su reconocimiento del fenómeno investigado, considerando tres niveles: reconocimiento total, reconocimiento parcial y ausencia de reconocimiento. Esta clasificación permitió identificar patrones en las explicaciones de los estudiantes y mapear concepciones recurrentes, lagunas conceptuales y posibles obstáculos epistemológicos.

Tabla 13 –Una herramienta de estructuración para organizar las respuestas de los estudiantes.

Participante	FNVE: Degradación de polímeros			FNVE: Bioacumulación de NP en el organismo		
	Pregunta 1: La exposición prolongada de polímeros plásticos a los elementos (sol, viento, lluvia), bajo la acción principal de la radiación ultravioleta, suele generar cambios en este material. El escenario muestra envases compuestos principalmente de polímeros de poliestireno desechados en el medio ambiente. ¿Qué cree que ocurrirá con estos polímeros en estas condiciones a lo largo de varios años?	Proceso de... (¿El estudiante reconoce el proceso de degradación de polímeros?)	Interpretación de la respuesta a la pregunta 1	Pregunta 2 - 2. Los polímeros en el entorno cambian y no se eliminan fácilmente. Como consecuencia de ello, los organismos pueden ingerir con frecuencia estos polímeros. ¿Qué les sucede a los humanos al ingerirlos? Representalo con un dibujo. Explica lo sucedido con tus propias palabras.	La ingestión regular durante un período de tiempo provoca... (¿el estudiante reconoce el proceso de bioacumulación de nanoplástico en las células?)	Interpretación de la respuesta a la pregunta 2

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios utilizados para esta clasificación, así como los indicadores asociados a cada nivel de reconocimiento, se explican en la Tabla 14, que guió el análisis de las respuestas textuales y representaciones gráficas.

Tabla 14– Criterios e indicadores para clasificar las respuestas de los estudiantes.

Criterios para el análisis de los cuestionarios	
Reconocen el fenómeno.	Cuando identifican en la imagen la acción del ambiente en el proceso de degradación del polímero y que hay formación de MPs o NPs que pueden ser ingeridas por los seres vivos y no serán eliminadas completamente por el organismo donde se producirá bioacumulación.
Reconocen parcialmente el fenómeno.	Al identificar el proceso de degradación de polímeros, no menciona MPs y NPs, pero reconoce la formación de partículas que serán ingeridas y se acumularán en los organismos vivos.
No reconocen el fenómeno.	Cuando no logran identificar la degradación de los polímeros, o no resaltan la formación de partículas derivadas de polímeros que pueden ingerirse y causar daños al organismo.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de las respuestas textuales y las representaciones gráficas buscó identificar no solo la presencia o ausencia de términos científicos, sino, sobre todo, cómo los estudiantes articulaban entidades, propiedades y relaciones causales en sus explicaciones. Este procedimiento permitió la construcción del MEI como una representación sistematizada de las concepciones iniciales de los estudiantes sobre el FNVE, constituyendo una referencia para el diálogo con el MCi y el MCu en etapas posteriores de la investigación.

Para establecer relaciones de causa y efecto entre las entidades presentes en las respuestas, se identificó el siguiente vínculo: (i) la entidad mencionada; (ii) el efecto o consecuencia descrito por el estudiante; y, con base en esta información, (iii) la relación causal considerada para la elaboración del MEI.

Este proceso nos permitió reconstruir la cadena explicativa utilizada por los estudiantes, destacando cómo articulan entidades, propiedades y mecanismos al intentar explicar el fenómeno. El instrumento empleado para organizar esta información y sistematizar las relaciones de causa y efecto se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15 -Ejemplo de organización de relaciones de causa y efecto en la elaboración del MEI

Desarrollo de relaciones de causa y efecto para el MEI
--

Entidad 1	Relación	Entidad 2	Efecto	Relación de causa y efecto	Si... entonces...
-----------	----------	-----------	--------	----------------------------	-------------------

Fuente: Elaboración propia.

El MEI también se basa en inferencias. El desarrollo e incorporación de este componente en el modelo se guió por la siguiente pregunta:

"Después de un largo período en el que se dan estas relaciones de causa y efecto, ¿qué se puede inferir o suponer a partir de los modelos desarrollados por los estudiantes?"

Ese cuestionamiento posibilitó identificar suposiciones, conclusiones implícitas y proyecciones lógicas movilizadas por los estudiantes al articular entidades, propiedades y mecanismos en sus explicaciones, componiendo, así, el conjunto de inferencias que integra el MEI.

Para la elaboración de la versión final del modelo, las entidades recurrentes en las respuestas se agruparon en una sola entrada para consolidar variaciones semánticas o diferentes formas de denominación. Se adoptó un procedimiento similar para las relaciones de causa y efecto. Se descartaron las entidades y relaciones que no mostraron vínculo con la FNVE, ya que el MEI busca representar exclusivamente los componentes relevantes para explicar la degradación de polímeros, la formación de nanoplásticos y su posterior bioacumulación en el organismo humano.

Este proceso de refinamiento y síntesis nos permitió identificar, según la definición de modelo adoptada en esta investigación, tanto los componentes ontológicos (entidades y propiedades) como los epistemológicos (relaciones, mecanismos e inferencias) presentes en los modelos iniciales de los estudiantes. En la Tabla 16 se presenta un ejemplo de la estructura utilizada para organizar esta información.

Tabla 16 - Una herramienta resumen para la construcción del MEI

Modelo Estudiantil Inicial				
FNVE	<u>Pregunta guía</u> -¿Qué modelo explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?			
	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos			
	<u>Condiciones del sistema</u> - Polímero de poliestireno en cuerpos de agua a cielo abierto, expuesto a la radiación ultravioleta por un lapso de tiempo de meses a años que pueden bioacumularse en los alimentos			
	Constituyente ontológico		Constituyente epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones de causa y efecto	Inferencia

Fuente: Elaboración propia.

Además de las respuestas escritas a las preguntas propuestas, la recopilación de datos incluyó la elaboración de representaciones gráficas (dibujos), mediante las cuales se invitó a los estudiantes a ilustrar sus explicaciones sobre los fenómenos investigados. Las producciones escritas y visuales constituyeron el conjunto de datos escolares empíricos utilizados en esta investigación.

La información recopilada se trató con rigor y la máxima confidencialidad. Todos los datos de los participantes se mantuvieron anónimos y se utilizaron exclusivamente con fines de investigación, sin posibilidad de identificar a los estudiantes, de acuerdo con los principios éticos de la investigación educativa y la normativa vigente.

¿Cómo se analizaron los datos y qué criterios orientaron la construcción de las categorías analíticas adoptadas en la investigación?

Concluida la etapa de recolección, organización y sistematización de los datos empíricos para la elaboración del MEI, la investigación avanzó hacia el análisis de los datos, etapa final de la segunda fase, que consistió en el tensionamiento sistemático entre el MCi, el MCu y el MEI. El objetivo de esa etapa fue construir un modelo de referencia que fuese, simultáneamente, científicamente coherente, curricularmente viable y didácticamente adecuado al contexto de la Educación Media, proceso que resultó en la elaboración del MCEA, concebido como un modelo intermediario entre el conocimiento científico académico y el conocimiento científico escolar.

El análisis de datos siguió un enfoque interpretativo, similar al empleado en las técnicas de análisis de contenido cualitativo, ya que no empleó un instrumento rígido, sino una interpretación detallada de la información disponible. Este procedimiento permitió evaluar tanto la coherencia científica como la viabilidad curricular y didáctica del fenómeno en el contexto escolar.

En el caso de los documentos curriculares, se verificó que, aunque el FNVE no se menciona explícitamente en los textos normativos, diversos elementos presentes en el currículo permiten su abordaje en la Educación Media, siempre que estén debidamente articulados y contextualizados. Esa constatación refuerza la necesidad de un proceso de modelización que considere simultáneamente coherencia científica y adecuación curricular.

En relación al MEI, el análisis de las respuestas textuales y representaciones gráficas estuvo guiado por una pregunta orientadora: *¿En qué medida las representaciones visuales*

producidas por los estudiantes corresponden a lo que describieron en las preguntas propuestas? Con base en esta orientación, se examinó la coherencia interna entre las explicaciones textuales y las representaciones gráficas. Se consideraron los niveles de representación utilizados por los estudiantes (macroscópico, submicroscópico y simbólico), así como el uso de leyendas, flechas, etiquetas y otras indicaciones visuales para identificar entidades, procesos, mecanismos y posibles relaciones de causa y efecto. Este procedimiento nos permitió comprender cómo los estudiantes articulan elementos textuales y visuales en la construcción de sus modelos explicativos iniciales.

El tensionamiento entre los modelos fue orientado por criterios ontológicos y epistemológicos explícitos, definidos a partir del referencial teórico de la investigación. Estos criterios implicaron el análisis de las entidades, propiedades, relaciones de causa y efecto e inferencias presentes en cada modelo, así como la evaluación de su pertinencia para la explicación del FNVE en el contexto de la Educación Básica.

La Tabla 17 presenta el instrumento utilizado para la comparación sistemática de las entidades presentes en los modelos MCi, MCu y MEI. Organiza las entidades de forma que facilita la visualización de convergencias, divergencias, exclusividades y redundancias, lo que orienta la selección de los elementos que conforman el MCEA. Cabe destacar que la tabla ejemplifica la organización del instrumento, sin presentar los datos reales del análisis.

Tabla 17– Estructura del instrumento de comparación de entidades en los modelos

Tensión constituyente ontológica (entidades)			
MCi	MCu	MEI	MCEA

Fuente: Elaboración a partir de López y Mota, 2019.

Los criterios adoptados para decidir si una entidad debía permanecer en el MCEA fueron los siguientes: (i) la entidad debía estar presente en los tres modelos desarrollados (MCi, MCu y MEI); (ii) si no estaba presente en todos los modelos, debía demostrar relevancia directa para la explicación de la FNVE. Esta decisión se basa en el entendimiento de que no todas las entidades presentes en MCi pueden incorporarse al MCEA, dado que el modelo científico presenta un alto nivel de especificidad y complejidad, adecuado para la educación superior y, por lo tanto, incompatible con los objetivos formativos de un SD destinado a la educación secundaria.

Además, se definió un segundo conjunto de criterios para orientar el mantenimiento o exclusión de entidades: (i) la complejidad conceptual debe ser compatible con el nivel de abstracción esperado para estudiantes de secundaria; y (ii) la entidad debe tener relevancia

explícita para comprender o explicar el FNVE, contribuyendo eficazmente a la construcción de relaciones causales e inferencias coherentes en el modelo.

Tras la evaluación y validación de las entidades por parte de otros investigadores en cuanto a su relevancia e idoneidad para el fenómeno, el siguiente paso fue evaluar las propiedades asociadas a las entidades seleccionadas para el MCEA. Este proceso se llevó a cabo mediante una hoja de cálculo estructurada para comparar, organizar y definir qué propiedades debían mantenerse, ajustarse o excluirse, como se ilustra en la Tabla 18.

Tabla 18– Estructura del instrumento para comparar propiedades en los modelos

Tensión constituyente ontológica (propiedades)					
MCi		MEI		MCEA	
Entidad	Propiedad	Entidad	Propiedad	Entidad	Propiedad

Fuente: Elaboración a partir de López y Mota, 2019.

No todos los modelos presentaron propiedades, ya que el currículo no especifica explícitamente las características asociadas a cada entidad. Por esta razón, el análisis de propiedades en el proceso de desarrollo del MCEA consideró exclusivamente las presentes en el MCi y el MEI. Esta decisión garantiza que las propiedades incorporadas al modelo final se basen en conocimiento científico y sean coherentes con las conceptualizaciones espontáneas de los estudiantes, evitando así lagunas que pudieran comprometer la comprensión del FNVE.

La construcción de relaciones de causa y efecto siguió una lógica similar. Inicialmente, se consideraron las relaciones ya explicadas en los tres modelos (MCi, MCu y MEI). Antes de integrarlas en el MCEA, se verificó su coherencia con la FNVE y con las entidades y propiedades previamente seleccionadas. Este proceso buscó evitar contradicciones internas, ¿duplicaciones? conceptuales innecesarias y niveles de complejidad incompatibles con la educación secundaria.

Así, en el MCEA solo se mantuvieron las relaciones de causa y efecto científicamente consistentes, didácticamente apropiadas y epistemológicamente alineadas con la lógica interna del modelo. Esta tensión también se sistematizó en una hoja de cálculo comparativa, estructurada para confrontar las relaciones presentes en los tres modelos, analizar su relevancia y justificar la inclusión o exclusión de cada uno, como en los ejemplos anteriores.

Siguiendo la misma lógica adoptada para la elaboración de las relaciones de causa y efecto, también se examinaron las inferencias presentes en los tres modelos. Este proceso tuvo como objetivo identificar las inferencias adecuadas para la composición del MCEA, considerando simultáneamente la consistencia epistemológica, la relevancia para explicar la

FNVE y la compatibilidad con el nivel de complejidad esperado para los estudiantes de secundaria.

En primer lugar, se recopilaron y transcribieron todas las inferencias explícitas en MCi, MCu y MEI en una hoja de cálculo comparativa. Posteriormente, cada una se analizó según los siguientes criterios: (i) coherencia con las entidades, propiedades y relaciones de causa y efecto previamente seleccionadas; (ii) adecuación al nivel de abstracción que se espera que los estudiantes alcancen a lo largo del SD; y (iii) relevancia para la comprensión y explicación del fenómeno en estudio, evitando inferencias demasiado generales, tautológicas o inconexas con la FNVE.

Solo las inferencias que cumplieran estos criterios se conservaron en el MCEA. Se excluyeron las inferencias redundantes, aquellas con un alto nivel de especialización técnica o aquellas que excedían el alcance conceptual de la educación secundaria, garantizando así que el modelo final se mantuviera funcional y accesible sin comprometer su validez científica.

Este proceso de tensionamiento se sistematizó en una hoja de cálculo, similar a las utilizadas en etapas anteriores, en la que se comparó cada inferencia con su presencia o ausencia en los modelos originales, su justificación de inclusión o exclusión y su articulación con los demás componentes ontológicos y epistemológicos del modelo.

El producto final del proceso de tensionamiento resulta en el MCEA para el FNVE de bioacumulación de nanoplásticos de poliestireno en células del intestino humano, debidamente ajustado a las expectativas de aprendizaje previstas para la Educación Secundaria Básica en Minas Gerais. Este modelo sintetiza los componentes ontológicos y epistemológicos seleccionados a partir de la comparación entre MCi, MCu y MEI, incorporando únicamente las entidades, propiedades, relaciones de causa y efecto e inferencias que demostraron ser relevantes para la explicación del fenómeno, consistentes con el conocimiento científico y adecuadas al nivel de complejidad esperado para los estudiantes.

Tabla 19 – Síntesis de la estructura del Modelo Científico Escolar de Arribo

Modelo Científico Escolar de Arribo		
FNVE	<u>Pregunta guía</u> -¿Qué MCEA explica la bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos?	
	<u>Identificación FNVE</u> - Bioacumulación de PS-NP en enterocitos humanos	
	<u>Condiciones del sistema</u> - Polímero de poliestireno en cuerpos de agua a cielo abierto, expuesto a la radiación ultravioleta por un lapso de tiempo de meses a años que pueden bioacumularse en los alimentos	
	Constituyente ontológico	Constituyente epistemológico

MCEA

	Entidades	Propiedades	Relaciones de causa y efecto	Inferencia
--	-----------	-------------	------------------------------	------------

Fuente: Elaboración a partir de López y Mota, 2019.

El MCEA se configura, así, como un modelo de referencia para la planificación de secuencias didácticas fundamentadas en el FNVE, posibilitando la construcción de explicaciones progresivamente más elaboradas y cercanas al conocimiento científico escolar. Al articular elementos provenientes del conocimiento científico especializado, del currículo prescrito y de las concepciones iniciales de los estudiantes, el modelo contribuye al desarrollo de propuestas didácticas que favorecen la comprensión crítica de fenómenos contemporáneos y socialmente relevantes, en consonancia con los presupuestos de la educación CTS.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de esta tesis, aunque parcialmente publicados durante el doctorado, se reexaminan aquí bajo una perspectiva integrada. Este capítulo se dedica a la presentación y discusión de los resultados a la luz del referencial teórico y de los objetivos de la investigación. En ese sentido, se detallan los hallazgos obtenidos mediante los relatos de los participantes y de sus respectivas producciones.

Para garantizar el anonimato de los participantes y la trazabilidad de la información, se adoptó un sistema de codificación alfanumérica: cada estudiante de grado se identifica con el acrónimo LQ (Pregrado en Química), seguido de un número secuencial (p. ej., LQ01, LQ02). Este mismo código se utiliza para referenciar tanto las respuestas del cuestionario como las SD desarrolladas, estas últimas identificadas con el prefijo SD-LQ.

5.1 CUESTIONARIO PRELIMINAR: PANORAMA DIAGNÓSTICO DE LAS CONCEPCIONES SOBRE EL SD, LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE Y EL ENFOQUE CTS

Con el objetivo de mapear las concepciones de los futuros docentes sobre la estructura y los fundamentos de una propuesta docente, la primera pregunta del instrumento (Apéndice 1) buscaba identificar los aspectos que consideraban esenciales para la elaboración de una secuencia didáctica. En términos más generales, el cuestionario preliminar pretendía elaborar un diagnóstico de las concepciones de los participantes sobre los elementos estructurantes de la planificación docente. En este sentido, el análisis buscó responder a la siguiente pregunta guía: *¿Qué concepciones revelan los futuros profesores sobre los elementos estructurantes de una secuencia didáctica y sobre la articulación entre enseñanza, aprendizaje y contextualización CTS, y en qué medida estas concepciones permiten esbozar un panorama diagnóstico de sus potencialidades y debilidades formativas?*

Esta investigación inicial es oportuna, ya que nos permite identificar si el enfoque de los participantes se centra en la organización del contenido o si este ya abarca dimensiones didácticas y contextuales más amplias, alineadas con las tendencias contemporáneas en la enseñanza de la química. De las respuestas surgió una diversidad de unidades de significado, las cuales se organizaron para destacar las prioridades formativas del grupo, como se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20- Respuestas de los participantes sobre aspectos esenciales de la SD

	Respuesta del participante	Unidades de significado	Categorías
LQ-01	“O aluno deve ter <u>liberdade para pesquisar</u> e falar sobre o tema da aula, deve-se <u>utilizar elementos cotidianos para que se aprenda melhor</u> , abordagem clara sobre o tema”	Autonomía del estudiante; Relación entre vida cotidiana y conocimiento.	C
LQ-02	“Uma sequência de ensino e aprendizagem deve apresentar alguns aspectos, sendo eles <u>SD</u> , conhecimento, <u>contextualização</u> , <u>aplicações teóricas e práticas</u> .”	Sistematización del conocimiento; Relación entre la vida cotidiana y el conocimiento; Aplicabilidad técnica	A y C
LQ-03	" <u>Elaborar de um jeito mais preciso uma sequência</u> que seja necessário utilizar dentro da sala de aula e que possa <u>auxiliar os alunos na busca por aprendizagem</u> ."	Mediación para el aprendizaje; precisión en la planificación.	B
LQ-04	" <u>Sequência de conteúdos</u> – Teoria; <u>Avaliação</u> – pode ser realizada de <u>vários modos</u> ; Exemplos e exercícios sobre tal assunto também é importante"	Sistematización de Contenidos; Estrategias de Evaluación.	A y B
LQ-05	" <u>Objetivos claros sobre o que se deve saber ao final do conteúdo</u> , <u>progressão dos conteúdos de forma sequencial e gradual</u> , diversificação do conteúdo como atividades práticas, avaliação formativa de formas diferentes para demonstrar o conhecimento abordado e uma <u>contextualização sobre o tema</u> ."	Objetivos de aprendizaje; Progresión conceptual; Contextualización.	A y C
LQ-06	" <u>Domínio do conteúdo</u> ; SD; <u>recursos didáticos</u> , etc."	Dominio del contenido; Herramientas de enseñanza (recursos).	A y B
LQ-07	"Turma, público-alvo, metodologia, avaliação."	Adecuación del público objetivo; Planificación estratégica (metodología y evaluación).	B

LQ-08	“Deve conter primeiramente os <u>objetivos de ensino e aprendizagem</u> ; a <u>sequência em si deve ser progressiva</u> ; deve haver atividades para <u>engajar e aumentar o interesse do estudante</u> ; avaliação e revisão...”	Intencionalidad Educativa (Objetivos); Progresión Didáctica; Compromiso Estudiantil.	A y B
LQ-09	"1° A <u>explicação prévia</u> do professor. 2° A <u>compreensão do aluno acerca do que o professor explicou.</u> "	Transmisión y Recepción de Información; Verificación de Comprensión.	B

Fuente: Datos de investigación (2023)

Tabla 21 -Matriz de frecuencias de categorías

Participante	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Perfil
LQ-01			X	Priorizar la relación de alumnos con el contexto
LQ-02	X		X	Priorizar la relación de contenido con el contexto
LQ-03		X		Priorizar procesos de mediación

LQ-04	X			Prioriza la sistematización de contenido
LQ-05	X		X	Priorizar la relación de contenido con el contexto
LQ-06	X	X		Relación de contenidos y procesos de mediación
LQ-07		X		Priorizar procesos de mediación
LQ-08	X	X		Relación de contenidos y procesos de mediación
LQ-09		X		Priorizar procesos de mediación(enfoque instructivo)

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Siguiendo los marcos teóricos que sustentan este análisis, se percibe una recurrencia de unidades que remiten a la sistematización del contenido en una SD. Tal hecho se relaciona con la dimensión epistémica, que se establece en la interfaz entre el conocimiento y el mundo material. Esto sugiere que, en la visión de este grupo, la coherencia del conocimiento/contenido es el principal orientador de una SD.

Las categorías que surgen inductivamente de este análisis a partir del marco teórico se dividen en:

- A. *Sistematización de contenidos* - agrupa unidades de sentido que focalizan la estructura técnica y la transposición didáctica en la SD. Incluye la preocupación con el dominio del conocimiento científico escolar, lógica de abordaje y claridad en la definición de los objetivos de aprendizaje.
- B. *Procesos de mediación didáctica* - abarca los métodos y herramientas utilizados para operacionalizar la enseñanza. Agrupa unidades de significado que se refieren a estrategias de mediación, instrumentos de evaluación y el uso de recursos didácticos, destacando las respuestas que demuestran una mayor preocupación por la organización del trabajo para la verificación del aprendizaje.
- C. *Contextualización* - reúne unidades de sentido que buscan romper con la enseñanza desvinculada del contexto, identificada como la relación entre la vida cotidiana y el conocimiento científico, identificadas como relación cotidiano-conocimiento científico y la autonomía del estudiante³. Estas son respuestas que evidencian la comprensión de que la SD debe ser significativa para el alumno.

A partir de estas categorías se elaboró una matriz de análisis (Tabla 21), que permite identificar con mayor claridad los perfiles de los participantes y las brechas en aspectos poco evidentes en las respuestas.

Se puede inferir que la distribución de categorías revela una visión fragmentada de los aspectos esenciales de una secuencia didáctica, dado que ningún participante consideró simultáneamente las tres categorías. Según el marco adoptado, estos elementos están directamente relacionados con los vértices del rombo didáctico; la falta de integración sugiere que los estudiantes de magisterio aún no articulan plenamente estos puntos. Esta fragmentación puede llevar a planes científicamente rigurosos pero desconectados de la

³ La autonomía se entiende aquí de forma multidimensional: desde la perspectiva del modelado (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH, 2009; GIERE, 2004), como la capacidad intelectual de movilizar modelos para explicar el mundo; y desde el enfoque CTS (SANTOS; AULER, 2011; STRIEDER et al., 2016), como el desarrollo de valores y capacidades para la toma de decisiones y la participación social.

realidad del estudiante o, por el contrario, a propuestas que valoran el contexto y la mediación pero carecen de profundidad en el conocimiento científico escolar.

Las categorías más frecuentes en el cuestionario preliminar fueron A y B, lo que indica que las preocupaciones de los participantes se centran en los ejes profesor-conocimiento y profesor-alumno. La baja frecuencia de la categoría C indica una brecha en la percepción de las secuencias didácticas como herramienta de mediación entre el mundo material y el conocimiento científico. Por lo tanto, la mayoría de los participantes considera esencial que las secuencias didácticas presenten contenidos bien definidos, metodologías concretas, procesos de evaluación y aplicaciones prácticas.

Sin embargo, además de la organización estructural de una secuencia de enseñanza, es necesario comprender las concepciones de los participantes sobre la relación entre enseñanza y aprendizaje. Duit (2007), al presentar el Modelo de Reconstrucción Educativa (MRE), indica que la enseñanza no debe entenderse como una mera simplificación de contenidos, sino como un proceso complejo de transformación del conocimiento científico en conocimiento científico escolar, proceso mediado por la subjetividad del estudiante. En otras palabras, la construcción del conocimiento depende no solo de la acción del docente en la planificación y mediación, sino también de la participación activa del estudiante, de modo que un enfoque puramente expositivo puede reducir su protagonismo, lo que provoca que movilicen menos acciones cognitivas y dificulta la construcción de nuevos significados para el contenido abordado.

En este sentido, la forma en que el futuro docente percibe la interacción entre estos dos procesos —ya sea de forma dependiente y lineal o como instancias independientes que requieren mediación— revela la importancia que atribuye al rol activo del estudiante y a sus concepciones previas. La Tabla 22 presenta las respuestas de los participantes, categorizadas según la naturaleza de la mediación y la visión del aprendizaje que emerge de sus discursos.

Tabla 22 - Concepciones sobre la relación entre enseñanza y aprendizaje.

	Respuesta del participante	Naturaleza de la relación
LQ-01	<u>“Ensinar não quer dizer que o aluno irá aprender; o conteúdo deve ser abordado de maneira que o discente consiga compreender o que está sendo falado, para que possa aprender.”</u>	Processual - subjetiva

LQ-02	“O ensino e a aprendizagem são palavras diferentes, mas que na educação devem andar juntos, <u>cabe aos professores ensinar e aos alunos aprender.</u> ”	Transmissiva
LQ-03	“Descreveria como simples objeto que <u>leva o aluno ao conhecimento e seus aspectos</u> ”	Transmissiva
LQ-04	“A relação é que as duas devem andar juntas, deve-se ter a <u>parte do ensino, pelo professor e a parte da aprendizagem pelos alunos.</u> Uma meio que complementa a outra.”	Transmissiva
LQ-05	“O ensino aborda o conhecimento do professor e sua habilidade de transpor de maneira didática, enquanto a aprendizagem diz a respeito dos alunos conseguirem entender como aquele conhecimento é aplicado, e a <u>aprendizagem é resultado do ensino.</u> ”	Transmissiva
LQ-06	“ <u>Para haver aprendizagem, o ensino tem de ser bom,</u> ou seja, deve ser claro e ordenado.”	Transmissiva
LQ-07	“O ensino é o que o professor planejou demonstrar aos <u>estudantes,</u> mas nem sempre o que o professor espera que o estudante aprenda, realmente acontece. <u>A aprendizagem está relacionada com o que o estudante conseguiu realmente compreender</u> sobre o tema.”	Processual - subjetiva
LQ-08	“Ensino eficaz <u>criar oportunidades para uma aprendizagem mais significativa</u> e estimula os estudantes a serem aprendizes ativos.”	Reconstructiva
LQ-09	“A relação entre ensino e aprendizagem, se dá pelo o que <u>o professor passou</u> e o que <u>o aluno “absorveu”</u> daquele conteúdo.”	Transmissiva

Fuente: Datos de investigación (2023)

La relación entre la enseñanza y el aprendizaje se dividió en tres perspectivas que surgieron de las respuestas de los participantes. De esta forma, fue posible establecer:

- a. *Transmisiva*: el participante comprende o describe la enseñanza como una entrega y el aprendizaje como un resultado directo. Duit (2007) y Duit et al. (2012) reflexionan sobre el hecho de que muchos profesores aún operan bajo la perspectiva de que el conocimiento se "entrega". Así, si la respuesta del estudiante indica que el aprendizaje es el resultado directo de esa entrega de conocimiento, entonces está operando en una naturaleza transmisiva, de transmisión del conocimiento.
- b. *Procesal-subjetiva*: aquí esta terminología se empleó para evidenciar que el participante reconoce que la enseñanza y el aprendizaje son procesos distintos y que no depende solo del profesor. En otras palabras, entiende que lo que el profesor sabe y lo que el alumno comprende son dominios diferentes; al reconocer esta distancia epistémica, es como un punto de partida para la reconstrucción educativa.
- c. *Reconstructiva*: cuando el participante enfoca la creación de oportunidades para que el alumno actúe sobre el conocimiento. Para Duit (2007), la enseñanza solo es efectiva si es una reconstrucción mediada. En este sentido, la naturaleza reconstructiva se alinea con el pilar del MRE de "Diseño de Instrucción", donde el enfoque recae en la creación de ambientes que favorezcan el compromiso cognitivo del estudiante.

El análisis de los datos sintetizados en la Tabla 23 revela una predominancia de la naturaleza *Transmisiva* entre los futuros profesores, abarcando seis de los nueve participantes. Este resultado sugiere que, aunque están insertados en un proceso de formación inicial, la visión de la enseñanza como mera transmisión de información aún se sobrepone a la perspectiva de la reconstrucción mediada. Este hallazgo es preocupante para la implementación de propuestas que exigen que los docentes abandonen su rol de "transmisores de contenido" para asumir la función de mediadores de procesos cognitivos.

Desde esta perspectiva, la planificación de una SD acaba reduciéndose a una simplificación didáctica, basada en la creencia de que la estructura lógica del contenido dicta, por sí misma, la estructura del aprendizaje. Este concepto explica la tendencia de estos estudiantes universitarios a priorizar la sistematización conceptual por sobre la investigación de concepciones previas, la participación de los estudiantes o la problematización del contexto.

Por otro lado, los participantes LQ-07 y LQ-01 comprenden la relación entre enseñanza y aprendizaje como de naturaleza *Procesal-Subjetiva* que, aunque aún no explicitan una estrategia operativa de mediación, ya reconoce la discontinuidad intrínseca entre el enseñar y el aprender. Como postula Duit (2007), esta percepción constituye la etapa inicial para superar el modelo transmisivo, ya que admite la necesidad de que el conocimiento científico escolar sea procesado y resignificado por el estudiante. Este grupo, por lo tanto, identifica la existencia de una distancia epistémica entre la instrucción y la aprehensión, situando la subjetividad del alumno como factor determinante para el éxito del proceso educativo.

Por último, la naturaleza *Reconstructiva* se evidencia sólo en la respuesta de un participante (LQ-08), que revela una comprensión más profunda de la simetría necesaria entre enseñanza y aprendizaje. En esta perspectiva, el participante reconoce que el conocimiento debe ser activamente reconstruido por el estudiante cuando este es movilizado por un problema, un fenómeno o una situación real, alineándose con los presupuestos de una enseñanza que privilegia la construcción de nuevos sentidos.

El análisis de las respuestas a la Pregunta 3 (Tabla 23 - Apéndice 3) revela una percepción dicotómica entre los estudiantes de magisterio respecto al SD. Existe una tendencia a asociar la estructura del SD convencional con un modelo de enseñanza lineal y pasivo, en el que el profesor actúa como el único depositario del conocimiento y el alumno como receptor (LQ-01, LQ-04, LQ-06, LQ-07).

Esta visión de que el SD es un proceso de "entrega de productos prefabricados" y pasividad se hace evidente cuando los participantes contrastan la planificación común con enfoques más dinámicos. En la concepción de estos futuros docentes, el compromiso y la autonomía parecen solo posibles bajo la etiqueta de investigación, como si el SD "estándar" no diera cabida, por sí mismo, a la problematización ni a la subjetividad del estudiante. Fragmentos de los discursos ilustran esta dicotomía:

Na primeira [SD] você apresenta ao aluno uma sequência pré-estabelecida [...] destacando cada ponto importante. Já na segunda mostra o final para que o estudante formule suas hipóteses. (LQ-04)

A sequência de ensino já apresenta os conhecimentos científicos logo no início. [Uma abordagem investigativa] propõe que o estudante observe um ponto e procure meios para entender. (LQ-07)

Na sequência de ensino o professor fica mais 'preso' a um planejamento [...] no investigativo o discente tem uma abertura maior para pesquisar.
(LQ-01)

Tales concepciones indican que la estructura de una SD no se percibe como un espacio para la reconstrucción educativa (DUIT, 2007). Al ignorar que cualquier propuesta de enseñanza debe ser mediada por la acción cognitiva del estudiante para la evolución de sus modelos mentales, los participantes revelan que la idea de planificación se entiende más como una organización técnica de contenidos que como un diseño de situaciones de aprendizaje.

Esta resistencia o desconocimiento sobre el potencial innovador y flexible de una SD puede ser un reflejo de la ausencia de discusiones profundas sobre el tema en las dinámicas curriculares del curso. De acuerdo con el MRE, es imperativo que el estudiante en formación docente comprenda que la SD debe estructurarse como un ambiente de mediación activa, superando la visión de simple exposición ordenada de hechos científicos.

El análisis de las concepciones sobre la Educación CTS (Tabla 24 - Apéndice 4) revela un contraste entre el reconocimiento de la existencia de una tríada relacional y la dificultad para operacionalizarla en la planificación didáctica. Aunque los participantes admiten que Ciencia, Tecnología y Sociedad deben "caminar juntas", se observa una predominancia de respuestas que se mantienen en un nivel funcional o meramente descriptivo.

Para los participantes cuyas respuestas se clasificaron como inconclusas (LQ-01, LQ-05, LQ-09), el concepto de CTS se reduce a una coexistencia de términos donde la ciencia, la tecnología y la sociedad meramente "caminan juntos" (LQ-01), sin que se especifique cómo esta integración altera la dinámica de la enseñanza de Química. En esta perspectiva, la integración curricular es descrita por otros como una "necesidad" (LQ-03), pero aún carece de claridad metodológica. De acuerdo con las unidades de sentido acerca de la relación CTS, el foco recae en la descripción de los campos como un recurso para "*acercar la realidad del estudiante con la teoría*" (LQ-07). En estos casos, el contexto social se trata como un accesorio para facilitar la aceptación de los contenidos científicos, alineándose con una visión de contextualización próxima al cotidiano inmediato, sin necesariamente alcanzar la profundidad sociopolítica que el enfoque propone.

Los datos corroboran la percepción de que existe una brecha entre el conocimiento teórico y la transposición didáctica. Como señala la literatura (SANTOS; AULER, 2011), esta dificultad a menudo se deriva de una formación que prioriza el contenido puramente conceptual, lo que dificulta la articulación de la Química con dimensiones sociales y tecnológicas complejas.

En contrapartida, otra visión emerge de las respuestas que trascienden la descripción de los pilares y se centran en la finalidad formativa de la enseñanza. Para estos participantes, el enfoque CTS asume el papel de desarrollar habilidades de análisis y toma de decisiones, orientadas a que el alumno *"crea tu propio pensamiento"* (LQ-04) y desarrolle la capacidad de *"resolver problemas que involucran ciencia"* (LQ-04). Esta transición hacia una perspectiva crítica alcanza su punto máximo en la declaración de LQ-08, que describe el enfoque como un medio para promover una visión contextualizada que permita a los estudiantes actuar como *"ciudadanos aún más conscientes, activos y capaces de afrontar cuestiones más complejas"*. En este sentido, CTS deja de ser una mera ejemplificación y se convierte en un catalizador que exige al estudiante actuar como sujeto activo, dando nuevos significados a los conocimientos químicos abordados.

En resumen, el diagnóstico obtenido mediante cuestionarios preliminares revela un grupo de estudiantes de pregrado que, si bien reconocen la importancia de elementos como la contextualización y la tríada CTS, aún operan predominantemente bajo una lógica de enseñanza transmisiva. El predominio de una visión de planificación centrada en la sistematización de contenidos y la percepción de la secuencia de enseñanza como un guión rígido resaltan el desafío de traducir los marcos teóricos a la práctica docente. Esta visión inicial sirve de base para la etapa posterior de esta investigación, en la que se analizará si, y de qué manera, las propuestas desarrolladas por los participantes logran romper con este modelo lineal de enseñanza, incorporando la modelización y el enfoque CTS como estrategias efectivas para la mediación y reconstrucción del conocimiento químico.

5.2 CREENCIAS Y CONCEPCIONES SOBRE CTS: RESULTADOS DEL COCTS-PIEARCTS Y PANORAMA EDUCATIVO DE ESTUDIANTES DE PREGRADO

Con el objetivo de ampliar la comprensión de las bases epistemológicas que guían la formación de estudiantes de pregrado, se utilizó el instrumento COCTS-PIEARCTS, centrado en los Índices de Actitud Promedio (IAM), para indagar en sus concepciones sobre las interacciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, y la naturaleza del conocimiento científico. El análisis de este cuestionario permitió identificar cómo los participantes comprenden la influencia social en la producción científica, el papel de la ciencia en la toma de decisiones, la dimensión humana de la actividad científica y la función de los modelos en el ámbito del conocimiento científico escolar. En este sentido, esta subsección busca responder a la siguiente pregunta guía:

¿Qué panorama formativo puede delinearse a partir de las concepciones de los estudiantes universitarios sobre CTS y la naturaleza de la ciencia, y cómo este panorama contribuye a comprender sus perspectivas sobre el desempeño futuro en el desarrollo de secuencias didácticas?

Comprender cómo se construye la ciencia y cómo interactúa con la sociedad constituye la base epistemológica para la enseñanza a través de procesos de modelado. Para investigar esta dimensión, se utilizó el instrumento COCTS-PIEARCTS, centrado en los índices de actitud (IAM) de estudiantes universitarios respecto a las interacciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad. El cálculo y análisis de los datos del cuestionario COCTS se realizó según los procedimientos descritos por Antonioli (2012)⁴.

El primer punto de análisis se refiere a cómo los futuros docentes perciben el impacto del contexto social en la producción científica. Los datos, sistematizados en la Tabla 25, revelan un perfil de actitudes predominantemente adecuado, aunque con importantes matices.

Tabla 25 – Índices de actitud promedio (IAM) para el ítem 10111 (N=9)

Frase	Contenido	Clasificación	Promedio	Índice
A	La financiación gubernamental y empresarial influye en la investigación.	Adecuado	6,9	+0,68
B	Los grupos de interés y los grupos con fines de lucro determinan qué proyectos se aprueban.	Adecuado	8,0	+0,85
C	La sociedad afecta al dinero, pero no al contenido de la ciencia.	Ingenuo	8,0	-0,75
D	La cultura y la política de un país determinan el tipo de ciencia que se realiza.	Adecuado	7,3	+0,72
E	La ciencia intenta ser neutral, pero es imposible ignorar el contexto.	Próximo	6,6	+0,25

⁴ El procedimiento de cálculo y análisis se basó en: ANTONIOLI, Patrick de Miranda. *Atitudes, valores e crenças de alunos do ensino médio em relação à ciência e à tecnologia*. 2012. Disertación (Maestría en Educación) – Centro Federal de Educación Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Río de Janeiro, 2012.

F	La ciencia es una institución social y responde a presiones sociales.	Adecuado	8,0	+0,88
G	El científico debe estar aislado para que la sociedad no “contamine” la verdad.	Ingenuo	6,6	-0,55
PROM EDIO	Índice de actitud global para el ítem 10111	---	7,3	+0,30

Fuente: Datos de la investigación(2025).

Los resultados obtenidos mediante el instrumento COCTS (Ítem 10111) revelan que el grupo de estudiantes universitarios tiene una actitud generalmente positiva (+0,30) hacia la influencia de la sociedad en la ciencia. Sin embargo, un análisis detallado de las frases revela contradicciones conceptuales fundamentales para comprender los desafíos de la formación docente.

Se observa un alto grado de acuerdo con las afirmaciones A, B y F, que presentan IAM elevados (entre +0,68 y +0,88). Esto indica que los participantes reconocen la influencia de factores externos, como la financiación pública y los intereses de los grupos económicos, en la orientación de la actividad científica. Esta percepción rompe con la visión clásica de neutralidad y demuestra una alineación con los objetivos de la Educación CTS.

Sin embargo, surge una inconsistencia cognitiva al analizar el ítem C (IAM -0,75). Si bien el grupo reconoce la influencia social en la financiación, también coincide firmemente en que la sociedad no afecta la lógica interna ni la validez de los descubrimientos científicos. Como señala la literatura (SANTOS; AULER, 2011), este fenómeno se caracteriza por una visión dualista: los sujetos perciben la influencia social en la gestión de la ciencia, pero protegen el contenido químico de cualquier interferencia social o ética.

Esta brecha es significativa porque sugiere que, en la planificación del desarrollo profesional, los futuros docentes tienden a incluir el contexto CTS únicamente como un marco externo (una historia o curiosidad), sin poder reconstruir el concepto químico desde su dimensión social. Por lo tanto, los datos del COCTS complementan el diagnóstico de cuestionarios previos, reforzando que la transposición didáctica del enfoque CTS aún carece de una integración más profunda entre los aspectos sociales y específicos de la química. En el contexto del modelado, esta visión puede llevar a una enseñanza que utilice (o se base en)

modelos como representaciones dogmáticas y ahistóricas, en lugar de herramientas conceptuales construidas para resolver problemas situados.

Al invertir el análisis hacia el impacto de la Ciencia en la Sociedad (Tabla 26), observamos cómo los participantes proyectan la utilidad del conocimiento científico frente a dilemas éticos y morales.

Tabla 26 –Índices de actitud promedio (IAM) para el ítem 10211 (N=9)

Frase	Descripción de la perspectiva (resumen)	Clasificación	Promedio	Índice
A	La ciencia ayuda a decidir cuestiones morales y sociales.	Ingenuo	5,8	-0,32
B	La ciencia simplemente genera hechos; la sociedad decide cómo se utilizan.	Próximo	7,6	+0,42
C	La ciencia proporciona información, pero no resuelve dilemas éticos.	Adecuado	7,6	+0,78
D	La ciencia es neutral; su uso (bueno o malo) depende de la política.	Ingenuo	7,6	-0,68
E	El conocimiento científico es esencial para las decisiones políticas.	Próximo	6,7	+0,28
F	Los científicos deberían advertir sobre los peligros tecnológicos.	Adecuado	7,7	+0,81
G	La ciencia puede causar problemas que por sí sola no puede resolver.	Adecuado	7,6	+0,78
H	La tecnología es el principal motor del cambio social moderno.	Próximo	5,9	+0,15
PROME DIO	Índice global del ítem 10211	---	7,1	+0,28

Fuente: Datos de la investigación (2025).

En el ítem 10211, los participantes muestran un alto grado de acuerdo con la afirmación D (IAM -0,68), lo que refuerza la creencia en la neutralidad de la ciencia (la idea de que "el problema es el uso", y no la construcción del conocimiento). Sin embargo, demuestran madurez al reconocer que la ciencia por sí sola no resuelve dilemas éticos (Afirmación C) y que los científicos tienen responsabilidad social (Afirmación F). Una vez más se destaca que este posicionamiento demuestra que el participante percibe el modelo como neutral, por lo que el uso de modelos en la enseñanza tiende a volverse meramente ilustrativo, perdiendo su potencial para fomentar la ciudadanía.

El análisis de los índices de actitud (IAM) en los ítems 10111 y 10211 revela una base epistemológica importante, aunque todavía fragmentada. Aunque los futuros docentes reconocen la influencia mutua entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, la persistencia de visiones de neutralidad científica puede actuar como un obstáculo para la implementación de prácticas de modelización en el aula.

Esta fragmentación se hace aún más evidente al analizar la percepción de los sujetos sobre la estructura misma del conocimiento científico y su relación con el desarrollo tecnológico. En la Tabla 27, se investiga el ítem 90511 del COCTS/PIEARCTS, que aborda la supuesta jerarquía entre los productos de la ciencia.

Tabla 27 –Índices de actitud promedio (IAM) para el ítem 90511

Frase	Descripción de la perspectiva (resumen)	Clasificación	Promedio	Índice
A	Las hipótesis se convierten en teorías, y estas se convierten en leyes después de ser probadas.	Ingenuo	8,2	-0,94
B	Las teorías y las leyes difieren sólo en su grado de verificación.	Ingenuo	7,6	-0,82
C	Las teorías explican las leyes; no se convierten en leyes.	Adecuado	5,4	+0,32
D	Las leyes describen los fenómenos, las teorías explican por qué ocurren.	Adecuado	6,1	+0,45
E	Hay un orden lineal (Hipótesis – Teoría – Ley).	Ingenuo	8,0	-0,91
PROMEDIO	Índice global del ítem 90511	---	7,1	-0,42

Fuente: Datos de la investigación (2025).

La actitud negativa observada en la Tabla 29 (IAM -0,42) revela una visión jerárquica y rígida de la ciencia. Los estudiantes de grado creen que el conocimiento evoluciona linealmente hasta alcanzar el estatus de "Ley", lo que le confiere un carácter de verdad absoluta e inmutable. Desde la perspectiva de Justi y Gilbert (2002), esta comprensión limita la comprensión de la naturaleza dinámica e interpretativa de la ciencia, lo cual se refleja directamente en el desarrollo de las secuencias de enseñanza: al presentar la Química como un conjunto de leyes "probadas", se reduce el margen para la incertidumbre y la construcción de modelos como herramientas explicativas provisionales.

Esta linealidad epistemológica se refleja también en la forma como los participantes definen su propia actividad de investigación y su vinculación con el desarrollo tecnológico, tal como se sistematiza en la Tabla 28.

Tabla 28 -Índices de actitud promedio (IAM) para el ítem 10311 (N=9)

Frase	Texto alternativo (resumen)	Clasificación	Promedio	Índice
A	¿Qué hacemos para comprender el mundo que nos rodea?	Plausible	7,6	+0,28
B	Un método científico único y riguroso.	Ingenuo	8,2	-0,70
C	Descubrimiento del orden que existe en la naturaleza.	Ingenuo	5,6	-0,44
D	El uso de la tecnología para descubrir los secretos de la naturaleza.	Plausible	6,4	+0,22
E	Aplicación de métodos cualitativos y cuantitativos.	Adecuado	8,1	+0,72
F	Observar, proponer explicaciones y probar validez.	Adecuado	8,5	+0,89
PROMEDIO	Índice de actitud global para el artículo 10311	---	7,4	+0,16

Fuente: Datos de la investigación (2025).

Los datos de la Tabla 28 resaltan la brecha entre el ámbito del discurso académico y las creencias implícitas. Si bien muestran altos índices de adecuación en la frase F (+0,89), los sujetos permanecen anclados en la idea de un "método científico" único y dogmático (frase B, IAM -0,70) y de la ciencia como "descubrimiento" de un orden preexistente (frase C, IAM

-0,44). Esta ambivalencia explica por qué las SD tienden a tratar la tecnología únicamente como una aplicación final y un contenido técnico aislado del contexto social.

La actitud negativa en este ítem sugiere que el grupo tiende a sobreestimar la capacidad de la ciencia para resolver dilemas sociales de forma aislada, ignorando la complejidad de los factores humanos, políticos y culturales involucrados. Este resultado contrasta parcialmente con los avances observados en los ítems anteriores, ya que, si bien los estudiantes universitarios reconocen la influencia social en la ciencia, aún tienden a atribuirle un papel casi autosuficiente en la resolución de problemas sociales. Desde la perspectiva de Duit (2007), estos datos señalan un riesgo pedagógico: al desarrollar sus SD, los estudiantes universitarios pueden presentar la Química como una "solucionadora de problemas" esencialmente técnica, reduciendo el espacio para el debate crítico, la problematización y la participación social al abordar cuestiones sociocientíficas.

Los participantes demuestran una visión jerárquica y rígida de la ciencia, expresada en la creencia de que una hipótesis se convierte en teoría y, posteriormente, en ley tras su verificación. Esta concepción, clasificada como ingenua, sugiere que el conocimiento científico se percibe como algo acumulativo, lineal y progresivamente perfeccionado hasta alcanzar la condición de verdad definitiva. Esta comprensión puede limitar la comprensión de la naturaleza dinámica, interpretativa y provisional de la ciencia, restringiendo así la posibilidad de promover prácticas didácticas que valoren la problematización, la incertidumbre y el debate crítico en la educación científica.

Los resultados obtenidos, que apuntan a una base epistemológica adecuada, aunque potencialmente estática, se reflejan en la literatura del campo. Autores como Justi y Gilbert (2002) advierten que la posesión de concesiones informadas sobre la naturaleza de la ciencia y los modelos no implica necesariamente su transposición al entorno del aula. Esta brecha entre "saber" y "saber enseñar" se ve frecuentemente influenciada por barreras y creencias implícitas que tienden a llevar a los estudiantes de pregrado a simplificar el conocimiento químico de forma dogmática, en detrimento de una práctica de modelización auténtica y flexible.

En resumen, los datos revelan que los estudiantes universitarios poseen las bases necesarias para una formación CTS, pero aún se encuentran atrapados en la dicotomía entre "contenido técnico" y "contexto social". El reto reside en observar si estos estudiantes han logrado romper con esta neutralidad, utilizando el conocimiento científico escolar no sólo para describir fenómenos, sino también para reconstruir el conocimiento.

5.3 DE LA CONCEPCIÓN A LA PRÁCTICA: ANÁLISIS DE LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS DESARROLLADAS POR ESTUDIANTES DE PREGRADO

Con base en el panorama epistemológico presentado en la sección anterior, resulta pertinente analizar en qué medida dichas concepciones se expresan —o no— en las propuestas didácticas desarrolladas por los participantes. Por lo tanto, esta subsección se centra en una lectura crítica de las SD elaboradas por ellos, buscando comprender cómo estas movilizan el conocimiento científico escolar, la problematización social y la dimensión formativa de la ciencia en la planificación de las clases. En este sentido, se busca responder a la siguiente pregunta guía: *¿Qué evidencias de una comprensión crítica de la ciencia y de la integración entre el contenido químico y las dimensiones sociales se pueden identificar en las secuencias didácticas diseñadas por los estudiantes de pregrado?* El siguiente análisis pretende evidenciar las coherencias, tensiones y divergencias entre las concepciones enunciadas y las prácticas planificadas, contribuyendo a la comprensión de los alcances y limitaciones de la formación vivida.

Según Duit (2007), la transposición didáctica requiere que el docente no solo conozca el contenido, sino que también sea capaz de deconstruir visiones dogmáticas para mediar en la construcción de modelos por parte de los estudiantes. Por lo tanto, los índices presentados aquí sirven como mapa predictivo para la siguiente etapa de esta investigación: el análisis de las SDs. En ellas, se buscó identificar si los participantes lograron convertir sus actitudes positivas en estrategias de modelización que rompen con el tecnicismo y promueven, de hecho, una alfabetización científica crítica y contextualizada.

La primera etapa del análisis de SD tuvo como objetivo examinar la estructura de estos materiales a la luz de parámetros epistemológicos previamente definidos. Para sistematizar los resultados, los datos se organizaron en una tabla. Se discuten ejemplos seleccionados a lo largo del texto, y el análisis completo de todos los SD está disponible en el Apéndice 16.

Para el análisis de la coherencia del contenido científico, se consideró la articulación entre objetivos, actividades y recursos, entendidos como elementos centrales para la construcción consistente del conocimiento. La ausencia de cualquiera de estos componentes imposibilita una evaluación integral de la propuesta didáctica y, al mismo tiempo, demuestra una debilidad estructural que tiende a comprometer la coherencia interna de la SD. Por lo tanto, la ausencia de registro de un elemento específico se interpretó como una laguna en la planificación y no como una mera omisión textual.

El análisis de los objetivos permitió organizarlos en dos categorías principales. Se clasificaron como *conceptual* aquellos que ellos explicaron la intención es promover la comprensión de conceptos, modelos o relaciones entre ideas científicas. A su vez, la *procesual* se centraron en la ejecución de acciones, el desarrollo de habilidades operativas o la realización de tareas instrumentales. Según los criterios definidos anteriormente, los objetivos de carácter conceptual tienden a aportar mayor coherencia al contenido científico de los SD, mientras que el predominio de objetivos procedimentales puede resultar en una reducción de dicho contenido, especialmente cuando no existe una clara indicación de intención explicativa o de construcción de modelos.

El análisis de *actividades* el estudio buscó comprender tanto lo que se pretendía enseñar cuándo y cómo se desarrollaría dicha enseñanza. En este sentido, se investigó la coherencia entre el fenómeno elegido y el concepto científico central, ya que la naturaleza de las acciones propuestas a lo largo de la SD revela cómo se moviliza el conocimiento científico. Las actividades que exigen únicamente respuestas directas, la ejecución de tareas sencillas o la reproducción de procedimientos muestran una baja articulación entre el fenómeno y el concepto; por el contrario, aquellas que requieren explicaciones, análisis, predicciones o el uso de modelos indican una mayor coherencia epistemológica.

En cuanto a los recursos, el análisis consideró si los materiales, experimentos, demostraciones e instrumentos seleccionados favorecían la construcción de explicaciones y la movilización de modelos científicos, o si se utilizaban únicamente con fines ilustrativos y descriptivos. La distinción entre recursos demostrativos y explicativos resultó fundamental: mientras que los primeros se limitan a visualizar el fenómeno, los segundos apoyan la elaboración conceptual y la interpretación científica.

A continuación (Tabla 29) se presentan ejemplos que ilustran el proceso de identificación de cada componente de la SD.

Tabla 29 -Análisis estructural de SD-LQ-01

SD-LQ-01		
Elemento SD	Descripción	Indicadores
Objetivo	Introducir a los estudiantes al concepto de lluvia ácida y sus efectos nocivos sobre el medio ambiente.	Procedimental porque no prevé la construcción conceptual.
Actividad	1- Comenzar con una discusión sobre los problemas ambientales que enfrenta actualmente la sociedad[...]	Las actividades 1 y 2 muestran una relación causal.

	2- Explorar las causas de la lluvia ácida [...] 3- Realizar un experimento para acidificar el agua soplando sobre ella. 4. Prepare un informe sobre el experimento.	Las actividades 3 y 4 son descriptivas.
Recurso	Experimento	Evidencia de una reacción química
Evaluación	Informe	Descriptivo

Fuente: Datos de investigación (2025)

Finalizada el análisis estructural de las SD y con el propósito de categorizarlas según los criterios previamente establecidos, se presenta a continuación, en la Tabla 30, el análisis del grado de coherencia del contenido científico. Dicho análisis consideró tres dimensiones centrales. La primera se refiere al *contenido científico escolar*, buscando identificar si los conocimientos químicos se presentan de forma clara y funcional, o si asumen un carácter meramente informativo y enciclopédico, limitado a la memorización. La segunda dimensión concierne al *uso de modelos*, inspirada en la perspectiva de R. Giere, distinguiendo situaciones en las que los modelos cumplen solo una función descriptiva/representativa de aquellas en las que se asume una función efectivamente explicativa e interpretativa del fenómeno estudiado. Por último, se analizó la *articulación entre fenómeno y contenido*, evaluando si el contexto movilizado actúa solo como ilustración, si es frágil o desconectado del problema real, o si configura un contexto investigativo que exige la movilización de conocimientos químicos para análisis y propuesta de soluciones.

La Tabla 30 presenta los resultados de este análisis, ejemplificados con extractos seleccionados del SD-LQ-01. El análisis correspondiente de las demás SDs se puede encontrar en el Apéndice 17.

Tabla 30 -Criterios para analizar la coherencia del contenido científico

Análisis de la coherencia del contenido científico SD-LQ-01		
Criterio	Evidencia	Análisis
Contenidos científicos escolares	<i>Introducir a los estudiantes al concepto de lluvia ácida y sus efectos nocivos sobre el medio ambiente, como la acidificación de ríos, lagos y suelos... (A1)</i> <i>Explorar las causas de la lluvia ácida, como la emisión de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre por la quema de</i>	A1, A2 y A3 resaltan secciones que explican claramente el contenido. A4 no aclara qué base conceptual se desarrollará.

	<i>combustibles fósiles... (A2)</i> <i>Midiendo el pH del agua y observando cómo el dióxido de carbono disuelto puede alterar su acidez... (A3)</i> <i>Elaboración de informes sobre el experimento. (A4)</i> <i>Promover debates sobre medidas individuales y colectivas... (A4)</i>	
Modelos	<i>Muestra imágenes y explora los efectos de la lluvia ácida en ríos, lagos, suelos y monumentos históricos... (A1)</i> <i>Pida a los estudiantes que observen el resultado después de soplar en el matraz Erlenmeyer... (A3)</i> <i>Comenten lo que observaron... (A4)</i>	A1, A3 y A4 cumplen una función descriptiva. No hay ninguna indicación de que el profesor o los estudiantes utilizarán alguna representación científica de las transformaciones químicas.
Articulación entre contenido y fenómeno	<i>Comience con una discusión sobre los problemas ambientales que enfrenta actualmente la sociedad... (A1)</i> <i>Discutiendo medidas para reducir las emisiones contaminantes... (A4)</i>	A1 no especifica cómo se utilizará la Química para explicar estos problemas. A4 es una actividad que puede realizarse sin movilización conceptual.

Fuente: Datos de investigación, 2025.

Leyenda: A - actividad

Los datos del SD-LQ-01 revelan limitaciones significativas en la articulación entre objetivos, actividades y la movilización del conocimiento científico. El objetivo planteado es esencialmente procedimental; la introducción se limita a la exposición directa de un concepto, sin problematizar la contextualización; la experimentación cumple una función estrictamente ilustrativa de un proceso de reacción ácido-base; y la evaluación se limita a una descripción de lo realizado. En esta configuración, la secuencia revela un bajo grado de coherencia en el contenido científico, ya que no moviliza modelos explicativos, no apoya interpretaciones basadas en conceptos químicos y no promueve el desarrollo del pensamiento crítico ni el razonamiento causal o mecanístico. En términos formativos, la actividad se acerca más a una práctica transmisiva y demostrativa, lejos de una propuesta investigativa o orientada a la construcción de conocimiento.

Se espera que el/la participante estructure actividades que conduzcan a la elaboración de explicaciones, el análisis del fenómeno de interés y la problematización con fundamento en el conocimiento científico, permitiéndole interpretar el fenómeno y no simplemente observarlo. Considerando estas debilidades, la Tabla 31 presenta una síntesis crítica del

análisis de las demás SDs, destacando el panorama general de coherencia —o falta de ella— en el conjunto de propuestas elaboradas por los participantes.

Tabla 31 -Análisis de los componentes de la SD y el grado de coherencia.

	Contenidos científicos escolares	Modelos	Articulación de contenido y fenómeno	Grado de coherencia
SD-LQ-01	Superficial, no presenta con claridad los conceptos ni las relaciones que se establecen con el fenómeno.	Falta de modelado; sólo para fines demostrativos.	Contexto ilustrativo; la lluvia ácida se utiliza sólo como ejemplo.	Bajo
SD-LQ-02	Apropiado significa aprovechar el conocimiento previo y demostrar la intención de lograr una comprensión conceptual de un fenómeno.	Utiliza modelos explicativos, pero las actividades no demuestran modelado, interpretación conceptual o explicación científica.	Contexto ilustrativo (Deterioro por corrosión); los recursos y la evaluación no articulan claramente los conceptos y el contexto.	Promedio
SD-LQ-04	Superficial, presenta conceptos desconectados, sin relación con un fenómeno.	Falta de modelado	Falta de contexto	Bajo
SD-LQ-05	Superficial; presenta conceptos desconectados, no relacionados con un fenómeno.	Incluye modelos representativos, pero carece de integración conceptual.	Falta de contexto	Bajo
SD-LQ-06	Adecuado; trabaja en la interpretación de imágenes de oxidación y proporciona explicaciones basadas en conceptos científicos.	El uso de modelos y experimentos con una función predominantemente ilustrativa, aunque contribuyan a la	Presenta el problema de la oxidación y el uso de metales de sacrificio como solución, pero no amplía el contexto al final	Promedio

		interpretación del fenómeno.	y la evaluación prioriza la memorización.	
SD-LQ-07	Apropiado; incluye aprovechar el conocimiento previo.	Incluye modelos representativos, sin explicación en profundidad.	Presenta el problema de la contaminación del aire.	Promedio
SD-LQ-08	Adecuado al fenómeno propuesto, pero carece de articulación entre el fenómeno y los conceptos científicos.	Utilización de experimentos demostrativos y modelos representativos de las características de los plásticos.	Contextualización basada en los impactos ambientales de los plásticos en la vida cotidiana.	Bajo
SD-LQ-09	Superficial, presenta conceptos no relacionados con el fenómeno.	Incluye modelos representativos, sin explicación en profundidad.	Falta de contexto	Bajo

Fuente: Datos de investigación, 2025.

El análisis reveló que la coherencia del contenido científico osciló entre niveles bajos y medios, sin que ninguna propuesta alcanzara un alto grado de coherencia epistémica. Sin embargo, SD-LQ-02, SD-LQ-06 y SD-LQ-07 destacaron por presentar una mayor integración entre fenómenos, conceptos y actividades de interpretación, si bien de forma parcial y con importantes lagunas. Las secuencias restantes revelaron debilidades significativas, especialmente relacionadas con la ausencia de procesos de modelización, el uso limitado de representaciones científicas y la falta de una articulación consistente entre los fenómenos y el conocimiento químico.

Los resultados permiten afirmar que ninguna de las SD analizadas presentó una alta coherencia epistémica, lo que indica dificultades para construir explicaciones basadas en modelos científicos. Un bajo grado de coherencia epistémica implica que la secuencia tiende a recurrir a explicaciones esencialmente empíricas o descriptivas, restringiéndose a observaciones puntuales o al listado de información inconexa. Esta característica compromete el desarrollo del razonamiento causal y mecanístico, indispensable para que los estudiantes comprendan cómo y por qué ocurren los fenómenos, formulando interpretaciones basadas en el conocimiento científico y no solo en percepciones intuitivas o el sentido común (ROUSS et al., 2008; TALANQUER, 2018). Este aspecto adquiere aún mayor relevancia en el contexto

de la educación CTS, ya que propuestas de esta naturaleza deberían favorecer los procesos de toma de decisiones basados en conceptos científicos, capacitando a los estudiantes para analizar críticamente los problemas sociocientíficos (SILVEIRA et al., 2025).

A partir de este análisis, fue posible identificar dos grupos distintos de secuencias: aquellas con un grado bajo de coherencia epistémica y aquellas con un grado medio.

En el primer grupo (SD-LQ-01; SD-LQ-04; SD-LQ-05; SD-LQ-08), se observó la ausencia de procesos de modelado o el uso de modelos solo de manera representativa, sin función explicativa. En estas propuestas, el contenido científico se trata superficialmente, limitando el alcance de las discusiones y reduciendo la interpretación de los fenómenos a descripciones empíricas carentes de profundidad conceptual. Como señalan Lourenço y Paiva (2017), los enfoques superficiales del contenido conllevan desventajas significativas en el proceso de aprendizaje, ya que priorizan la memorización sobre la comprensión, dificultan el establecimiento de relaciones entre conceptos e inhiben el desarrollo del pensamiento crítico. Además, comprometen la contextualización significativa del conocimiento y, en consecuencia, el análisis e interpretación de los fenómenos cotidianos (Silveira et al., 2025). En este grupo, también se evidencia una debilidad epistemológica asociada a la ausencia de problematización y contextualización, dimensiones esenciales para la construcción de significados y para la elaboración de explicaciones ancladas en modelos científicos.

El segundo grupo (SD-LQ-02, SD-LQ-06 y SD-LQ-07), compuesto por secuencias con un grado medio de coherencia epistémica, mostró una mayor adecuación en el tratamiento del contenido científico. Estas propuestas revelaron usos ocasionales de modelos explicativos, así como una intención de relacionar fenómenos y conceptos, y de articular objetivos, actividades y recursos de manera más consistente. Sin embargo, incluso en estos casos, persisten algunas limitaciones, como: los procedimientos evaluativos se centran principalmente en la memorización, y los recursos adoptados siguen siendo en gran medida demostrativos, con un énfasis reducido en la problematización, la interpretación y la participación activa del alumnado. Por lo tanto, si bien representan avances en comparación con el primer grupo, estas secuencias aún no constituyen propuestas para promover una comprensión profunda del fenómeno estudiado.

Se considera que una secuencia tiene un alto grado de coherencia epistémica cuando presenta: (a) un tratamiento adecuado y profundo del conocimiento científico; (b) objetivos explícitamente orientados a la construcción conceptual; (c) actividades que promuevan procesos de modelación, problematización y contextualización; (d) recursos que apoyen la elaboración de representaciones explicativas; y (e) métodos evaluativos capaces de identificar

no sólo la memorización sino también la comprensión, interpretación y utilización de los modelos científicos por parte de los estudiantes.

Según López y Mota y Moreno-Arcuri (2014) y López y Mota (2019), el uso intencional de modelos explicativos es un elemento central en el aprendizaje de las ciencias, ya que estos modelos funcionan como herramientas epistemológicas que permiten predecir, explicar y establecer relaciones entre fenómenos y conceptos científicos. En el contexto de la educación científica, el uso de modelos y representaciones se vuelve indispensable porque el conocimiento científico escolar resulta de un proceso de transposición didáctica que transforma el conocimiento formal —producido en el campo de la ciencia a través de teorías, leyes y modelos— en conocimiento enseñable y comprensible para los estudiantes. En ausencia de procesos de modelización, esta transposición tiende a volverse incompleta o reducida, comprometiendo la comprensión de los fenómenos y restringiendo el aprendizaje a descripciones y definiciones descontextualizadas.

Por lo tanto, descuidar el uso de modelos explicativos y procesos de modelización implica distanciar a los estudiantes de la naturaleza misma del conocimiento científico, limitando su capacidad para interpretar fenómenos, justificar decisiones y establecer relaciones significativas entre ciencia, tecnología y sociedad. Considerando que el objetivo de este trabajo era desarrollar propuestas con un enfoque CTS, esta brecha se vuelve aún más crítica, ya que impide que los estudiantes utilicen el conocimiento científico como herramienta para analizar problemas reales, construir respuestas fundamentadas y ejercer una participación cívica informada.

La contextualización presente en las secuencias didácticas también se analizó a la luz de los parámetros del enfoque CTS, ya que esta perspectiva implica dimensiones epistemológicas fundamentales para la construcción de explicaciones científicas socialmente situadas. Como se mencionó anteriormente, además de la coherencia epistémica, se solicitó a los participantes que desarrollaran SD que incorporaran las características centrales de este enfoque. Así, se analizó la integración entre los elementos Ciencia (C), Tecnología (T) y Sociedad (S), tomando como referencia la estructura propuesta por Silva y Marcondes (2015).

Según estos autores, una secuencia con enfoque CTS debe: (1) iniciar con la presentación de un tema o problema socialmente relevante (S); (2) profundizar en una aplicación tecnológica asociada al problema (T); (3) desarrollar el conocimiento científico específico involucrado (C); (4) realizar una reinterpretación del problema luego del estudio conceptual (T); y (5) promover un retorno a la sociedad, en el que se espera que los estudiantes analicen críticamente la situación y propongan alternativas fundamentadas (S).

No obstante, el orden secuencial propuesto por este enfoque requiere ser problematizado a la luz de los objetivos de esta investigación. En particular, el hecho de priorizar la profundización en una aplicación tecnológica antes del desarrollo del conocimiento científico específico puede implicar una subordinación del conocimiento científico a la lógica de la solución tecnológica.

Desde la perspectiva adoptada en este estudio, centrada en la modelización de fenómenos, esta secuencia plantea tensiones relevantes. Si el problema es abordado principalmente como una cuestión tecnológica, el desarrollo del conocimiento científico puede quedar condicionado a la explicación de una solución previamente delimitada, lo que limita la construcción de modelos explicativos más amplios sobre el fenómeno.

En este sentido, se hace necesario reflexionar sobre la naturaleza del problema que orienta la secuencia didáctica. Cuando el foco se sitúa en la comprensión de un fenómeno —como en el caso de la bioacumulación de PS-NPs—, la modelización se configura como un eje estructurante, permitiendo organizar entidades, propiedades y relaciones causales que no se reducen a una aplicación tecnológica específica. Así, más que seguir una secuencia rígida, se propone una articulación flexible entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, en la que el conocimiento científico no quede subordinado, sino que actúe como base para la comprensión y problematización de situaciones sociocientíficas.

En la Tabla 32 se presenta un ejemplo del análisis del SD-LQ-06.

Tabla 32 -Análisis del enfoque CTS en secuencias de enseñanza.

Análisis del enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad del SD-LQ-06		
Criterio	Evidencia	Enfoque
Problematización Sociocientífica (S)	Metal de sacrificio.	Social - Problematización
Dimensión Tecnológica y Fenomenológica (T)	Análisis de una imagen de una embarcación que ha sufrido oxidación, formándose óxido (herrumbre).	Tecnológico - Aplicación
Conceptualización científica (C)	La imagen pretende iniciar una discusión con los estudiantes sobre la oxidación y, en el caso de este barco, el proceso de formación de óxido; reacción redox; número de oxidación; potencial de reducción; metal de sacrificio.	Científico - Conceptualización

Transposición/ Reinterpretación del Fenómeno (T)	<i>No identificado en la propuesta, el concepto no vuelve a explicar el fenómeno del barco.</i>
Toma de decisiones y acción social (S)	<i>Inexistente; no hay propuesta de curso de acción ni proceso de toma de decisiones.</i>

Fuente: Datos de investigación, 2025.

El análisis del enfoque CTS en SD-LQ-06 revela que la secuencia comienza con la presentación de un tema socialmente relevante, profundiza en una aplicación tecnológica asociada al problema y desarrolla el conocimiento científico específico involucrado. Sin embargo, no reinterpreta el problema después del estudio conceptual ni proporciona un retorno a la sociedad, pasos esenciales para que los estudiantes utilicen el conocimiento producido en la toma de decisiones y la propuesta de soluciones. Por lo tanto, si bien presenta avances importantes, la propuesta no cumple plenamente con los supuestos del enfoque CTS, ya que no contempla el ciclo completo de problematización-comprensión-acción social. Considerando estos aspectos, la Tabla 33 presenta un resumen de los datos obtenidos en el análisis de los demás SD.

Tabla 33 -Análisis del enfoque CTS presente en las secuencias didácticas.

	Problematicación Sociocientífica (S)	Dimensión Tecnológica y Fenomenológica (T)	Conceptualización científica (C)	Transposición/ Reinterpretación del Fenómeno (T)	Toma de decisiones y acción social (S)
SD-LQ-01	Lluvia ácida	Acidificación de ríos, lagos y suelos; daños al ecosistema y a los monumentos históricos; problemas de salud humana.	Ácidos, gases contaminantes, combustibles fósiles	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>
SD-LQ-02	Oxidación de viaductos	Daños en viaductos y puentes por oxidación.	Electroquímica, oxidación, modelo atómico de Bohr y enlace químico.	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>
SD-LQ-04	Tabla periódica	<i>Contextualización no realizada</i>	Tabla periódica y propiedades periódicas	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>
SD-LQ-05	Química orgánica	<i>Contextualización no realizada</i>	Carbono, grupos funcionales y nomenclatura de compuestos orgánicos.	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>
SD-LQ-06	Metal de sacrificio	Oxidación de embarcaciones	Reacción de oxidación-reducción, número de oxidación, potencial de reducción y metal de sacrificio.	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>
SD-LQ-07	Contaminación del aire	<i>Contextualización no realizada</i>	Reacciones químicas y reacciones de combustión	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>

SD-LQ-08	Impactos ambientales de los plásticos en la vida cotidiana.	Tipos de plásticos y procesos de producción	Composición de los plásticos (polímeros)	Consecuencias de las emisiones de gases a la atmósfera durante la producción y eliminación de plásticos.	Sustitución por alternativas sostenibles
SD-LQ-09	Química Ambiental	Contaminación del aire, agua y suelo y cambio climático	<i>No identificado</i>	<i>Falta de rearticulación con el fenómeno</i>	<i>Este paso no estaba incluido en la planificación.</i>

Fuente: Datos de investigación, 2025.

El análisis de la Tabla 33 muestra que solo el SD-LQ-08 abarca plenamente el ciclo característico del enfoque CTS: presentación de un problema social relevante, exploración tecnológica asociada, desarrollo de conocimiento científico, reinterpretación del problema y retorno a la sociedad. En esta propuesta, se observa una articulación consistente entre los tres ejes (Ciencia, Tecnología y Sociedad), lo que indica una comprensión sistémica del enfoque y una intencionalidad formativa orientada a la toma de decisiones informada. Sin embargo, incluso en este caso, se observan debilidades en el uso de procesos de modelización, lo que revela una mayor inversión en las dimensiones social y tecnológica en detrimento de la construcción epistémica de conceptos científicos.

Un segundo grupo de secuencias (SD-LQ-01, SD-LQ-02 y SD-LQ-06) presenta avances parciales: introducen un tema socialmente relevante, dialogan con alguna aplicación tecnológica y desarrollan, aunque de forma limitada, el conocimiento científico asociado. Sin embargo, no realizan la reinterpretación del problema tras el estudio conceptual ni promueven el retorno a la sociedad, etapas esenciales para el cierre reflexivo del enfoque CTS. Se trata, por tanto, de propuestas que movilizan los ejes C, T y S de manera fragmentada, sin alcanzar un movimiento de análisis crítico y toma de decisiones socialmente situada. Esta tendencia es coherente con los niveles de coherencia epistémica previamente identificados: mientras que la SD-LQ-01 presenta bajo grado de coherencia, las SD-LQ-02 y SD-LQ-06 se sitúan en un nivel intermedio, articulando parcialmente contenido y contexto, pero aún basadas en evaluaciones centradas en la memorización y con problematización incipiente.

El tercer grupo, compuesto por SD-LQ-04, SD-LQ-05, SD-LQ-07 y SD-LQ-09, se centra predominantemente en el contenido científico, sin presentar aplicaciones tecnológicas consistentes, problematización social ni un retorno a la sociedad. En estas propuestas, CTS aparece solo como una contextualización superficial o un escenario introductorio, sin configurar situaciones sociocientíficas, procesos de investigación, ni toma de decisiones. En consecuencia, presentan un bajo grado de coherencia epistémica, falta de modelado y un predominio de actividades descriptivas, lo que limita el potencial formativo de las secuencias y refuerza las prácticas transmisivas de contenido científico escolar.

En general, los resultados indican que las principales dificultades que enfrentan los participantes se concentran en tres dimensiones: (1) ausencia de procesos de modelización capaces de sustentar explicaciones, interpretaciones y relaciones causales; (2) uso restringido de la problematización como motor del desarrollo conceptual; y (3) la ausencia, en la mayoría

de las propuestas, de la etapa de retorno a la sociedad, un elemento central para la toma de decisiones críticas en el enfoque CTS. Estos hallazgos revelan no sólo debilidades en la coherencia epistémica del SD, sino también lagunas formativas en la comprensión y la operacionalización de la Educación CTS.

¿Qué conclusiones podemos sacar de los resultados de la primera fase de la investigación?

El análisis integrado de los datos obtenidos del cuestionario preliminar, el COCTS y las situaciones de aprendizaje permite trazar una visión general coherente de las concepciones y prácticas de los participantes. Inicialmente, el cuestionario preliminar reveló que los participantes tienden a concebir las situaciones de aprendizaje como un instrumento técnico-organizativo, centrado en los ejes profesor-conocimiento y profesor-alumno, con escasa comprensión de su papel mediador entre el fenómeno y el conocimiento científico. Predominan las concepciones transmisivas, en las que la planificación se entiende como la "entrega de contenido pre estructurado", con un escaso reconocimiento de la importancia de la problematización, la investigación y el protagonismo cognitivo de los estudiantes. Esta perspectiva refuerza una comprensión restringida de la planificación, más vinculada a la gestión de contenidos que al diseño de situaciones de aprendizaje.

Los resultados de COCTS profundizan este escenario al revelar una base epistemológica aún fragmentada. Si bien los participantes reconocen la existencia de interacciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, persiste una concepción dualista que mantiene la ciencia como neutra e inmune a las influencias sociales y éticas. Por lo tanto, el contexto CTS tiende a entenderse como un marco externo —ilustrativo y accesorio— y no como un componente constitutivo de la construcción del conocimiento científico. Esta concepción impacta directamente la práctica, ya que favorece un uso meramente representativo y descriptivo de los modelos, vaciando su potencial explicativo, crítico y formativo.

Este panorama se confirma mediante el análisis de los SD, que generalmente muestran propuestas con un grado de coherencia epistémica bajo a medio, caracterizadas por la ausencia de procesos de modelación, una problematización incipiente y, en la mayoría de los casos, la falta de un retorno a la sociedad, un paso fundamental en el enfoque CTS. Así, incluso cuando se menciona el tema social, no se observa su articulación efectiva con el conocimiento científico escolar, lo que resulta en propuestas que se quedan en el nivel de una

contextualización superficial, sin constituir situaciones sociocientíficas capaces de promover el análisis, la toma de decisiones y la participación crítica.

En resumen, los datos convergen en un diagnóstico común: incluso antes de avanzar en la consolidación del enfoque CTS, existe un problema previo que debe abordarse, relacionado con la coherencia epistémica del SD. Los estudiantes universitarios tienen dificultades para articular fenómenos, conocimiento científico y procesos de modelación, lo que compromete la posibilidad misma de interpretar críticamente el problema social con base en el conocimiento construido. Sin esta base, cualquier intento de implementar el enfoque CTS tiende a reducirse a una contextualización decorativa o un discurso retórico, carente de consistencia epistemológica.

En este contexto, se justifica una segunda fase de la investigación centrada en brindar apoyo formativo y metodológico a estudiantes de pregrado. Para ello, se propone el uso del MCEA como alternativa teórico-metodológica para organizar las secuencias didácticas curricular y epistemológicamente, ya que este modelo integra dimensiones científicas, cognitivas y sociales, guiando desde la selección del fenómeno hasta las estrategias de evaluación (López y Mota, 2019; López y Mota; Moreno-Arcuri, 2014; López y Mota, 2013). De esta forma, se busca contribuir a la superación de las debilidades identificadas, promoviendo propuestas didácticas que articulen el modelado, la problematización, la toma de decisiones y la comprensión crítica de las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

5.4 MODELO CIENTÍFICO PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICO DE POLIESTIRENO EN ENTEROCITOS HUMANOS

En esta sección se presentan los resultados referentes a la construcción del MCi para el fenómeno modelizado que corresponde a un Fenómeno Natural de Valor Educativo (FNVE), entendido como aquel que posee relevancia para la vida de los estudiantes y, al mismo tiempo, demanda conocimientos científicos para su explicación, pues involucra complejidad cognitiva y presenta implicaciones sociales significativas. Así, su relevancia deriva de cuatro dimensiones articuladas: contextual, científica, cognitiva y social, lo que refuerza su potencial educativo para la formación crítica y ciudadana.

El MCi no se limita a representar el fenómeno, sino que busca explicarlo con un propósito claro: comprender su comportamiento a la luz del conocimiento ya producido por la ciencia. Por lo tanto, constituye una representación elaborada para describir, explicar y

predecir el fenómeno, estableciendo criterios de comprensión dentro del ámbito científico y permitiendo razonar sobre sus efectos a nivel empírico.

Se considera que el MCi es un modelo con capacidad inferencial y explicativa, ya que permite la construcción de nuevas interpretaciones y conclusiones sobre el fenómeno. En línea con la perspectiva de López y Mota (2019), que entiende los modelos como artefactos teórico-epistemológicos, el MCi se entiende como una estrategia que permite la interpretación de cómo el fenómeno... "*¿podría ser?*" y "*¿Cómo puede comportarse?*". En este sentido, actúa como modulador educativo, especialmente en el nivel básico universitario, sirviendo como base para la construcción del MCEA.

El MCi se compone de un conjunto de entidades y sus propiedades, relaciones causales que expresan conexiones entre eventos a lo largo del tiempo y reglas de inferencia que permiten generalizaciones del tipo... "*Si..., entonces...*". Cuando el comportamiento modelado se asemeja mucho al comportamiento real del sistema, estas relaciones permiten predecir nuevos comportamientos y una comprensión más profunda del fenómeno.

La pregunta que guió la investigación teórica fue: *¿qué relaciones provocan la degradación del poliestireno y la bioacumulación de nanopartículas de poliestireno (PS-NP) en células humanas?* Con base en esta pregunta, se investigó el comportamiento del poliestireno desechado en el medio ambiente a lo largo del tiempo, buscando comprender los procesos físicos, químicos y biológicos que explican la transformación del material y sus impactos en la salud humana. El análisis se centró principalmente en las interacciones entre el material plástico y la radiación ultravioleta, la formación de nanopartículas, la absorción de estas partículas por el cuerpo y los mecanismos de bioacumulación celular.

Desde un punto de vista estructural, el MCi presenta dos dimensiones fundamentales: una ontológica, compuesta por las entidades y sus propiedades; y una epistemológica, constituida por las relaciones de causa y efecto que describen el comportamiento del sistema y las inferencias que permiten predecir las consecuencias derivadas de estas interacciones. Por lo tanto, la construcción del MCi se guió por la siguiente pregunta central: *¿Qué modelo científico explica la bioacumulación de PS-NP en los enterocitos intestinales humanos?* Para dar respuesta a esto, se establecieron relaciones a partir de pares entidad-entidad (E1-E2), verificando, en cada caso, los efectos resultantes en el contexto de la bioacumulación.

Se asumió que la relación causal debía demostrar el proceso de degradación del PS expuesto a la radiación UV durante períodos prolongados. Para ello, se formularon preguntas orientadoras, como: *¿Qué pasa con el PS (poliestireno) que se desecha al medio ambiente después de un cierto período de tiempo?* y *¿Qué mecanismos permiten la absorción de PS-NP*

por el cuerpo humano?. La literatura consultada permitió explicar la fotooxidación del poliestireno, la formación de radicales libres, la consecuente fragmentación de la cadena polimérica en nanopartículas y las vías fisiológicas que permiten su entrada y acumulación en el cuerpo humano, destacando especialmente los procesos de endocitosis y almacenamiento lisosomal.

A partir de este conjunto de información, fue posible sistematizar las relaciones de causa y efecto que explican los procesos de degradación de PS, formación de nanopartículas y bioacumulación, resumidas en la Tabla 34.

Tabla 34 - Relaciones que se establecen entre entidades y su respectivo efecto en la explicación del FNVE.

Entidad 1	Relación	Entidad 2	Efecto
Polímero de Poliestireno (PS)	expuesto a	Radiación ultravioleta	Formación de un radical alquilo (PS-R*)
Radical alquilo (PS-R*)	interactúa con	Molécula de oxígeno	Formación de radical peroxilo (PS-O-O*)
Radical peroxilo (PS-O-O*)	interactúa con	PS	Formación de hidroperóxido (PS-OOH) y radical alquilo (PS-R*)
Hidroperóxido (PS-OOH)	expuesto a	Radiación ultravioleta, pH, H ₂ O, T°, catalisador	Formación de radicales alcoxilo (PS-RO*) y hidroxilo (HO*)
Radical hidroxilo (HO*)	interactúa con	PS	Formación de radical alquilo (PS-R*) y molécula de agua
Radical alcoxilo (PS-RO*)	expuesto a	Radiación ultravioleta	Formación de grupo carbonilo (PS-C=O) y radical alquilo (PS-R*)
Grupo carbonilo (PS-C=O)	interactúa con	Olefinas	Interacción con el PS y Formación de PS-NPS
Nanoplástico de Poliestireno (PS-NPs)	interactúa con	las proteínas del intestino humano	Formación de la proteína-corona
Proteína-corona	interactúa con	las proteínas de la membrana celular de los enterocitos del intestino humano	Activación de la proteína adaptina (del citoplasma de las células epiteliales)

Proteína adaptina	interactúa con	Proteína clatrina (que causan invaginación de la membrana celular)	Formación de endosoma
Endosoma	interactúa con	Lisosoma	Liberación de PS-NPs en el citoplasma

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez definidas las relaciones de causa y efecto que conforman la dimensión epistemológica del fenómeno, especialmente las relacionadas con los procesos de transformación del poliestireno, se procedió a la elaboración de la Tabla 35, que organiza las entidades, propiedades e inferencias que estructuran el sistema en estudio. Las entidades se definieron con base en las relaciones causales previamente identificadas, mientras que las propiedades se determinaron con base en el conocimiento a nivel atómico-molecular, garantizando la coherencia con el marco científico adoptado. Por lo tanto, la siguiente tabla consolida el MCi desarrollado para explicar el fenómeno, constituyendo el modelo de referencia que guía la comprensión del proceso y fundamenta las etapas posteriores de análisis y planificación educativa.

Tabla 35 -Modelo científico propuesto para FNVE

MCI			
FNVE	Bioacumulación de PS-NPs en los enterocitos de las células epiteliales del intestino humano		
Pregunta	¿Qué MCI explica la bioacumulación de PS-NPs en los enterocitos de las células epiteliales del intestino humano?		
Condiciones del sistema: polímeros plásticos de PS a cielo abierto (bajo al sol, lluvia y viento) por un lapso de tiempo de meses a años			
Entidad	Propiedad	Relaciones causa-efecto	Inferencia (Después de años, ...)
Poliestireno	Polímero amorfo caracterizado por su baja conductividad térmica y reducida densidad	Si PS esta expuesto a radiación UV entonces forma radical alquilo	PS expuesto a rayos UV y oxígeno del aire se degrada en nanoplástico (PS-NPs) - por procesos fotoquímicos y oxidativo
Radiación UV	Una forma de radiación electromagnética no visible, comprendida entre 10 y 400 nm en el espectro	Si radical alquilo interacciona con moléculas del oxígeno entonces forma radical peroxilo	PS-NPs recubiertos de proteínas - proteína-corona interactúan con enterócitos de las células epiteliales y penetran en la célula mediante endocitosis

Radical alquilo	Constituyen intermediarios altamente reactivos derivados de alcanos, cuya generación puede producirse a través de procesos de escisión homolítica o mediante técnicas de fotocátalisis	Si radical peroxilo interacciona con PS entonces forma radical alquilo y hidroperoxilo	Bioacumulación prolongada de PS-NPs en el citoplasma de la célula, presenta potencial para inducir inflamación y estrés oxidativo.
Molécula de oxígeno	Diatómica y presenta un estado fundamental triplete, siendo paramagnética y un potente agente oxidante	Si hidroperoxilo esta expuesto a radiación UV entonces forma radicales alcóxido y hidroxilo	
Radical peroxilo	Especies reactivas de oxígeno altamente inestables, caracterizadas por el enlace débil O–O y su comportamiento paramagnético. Actúan en la propagación de reacciones oxidativas, con un papel en la señalización celular y en procesos de estrés oxidativo	Si radical alcóxido esta expuesto a radiación UV entonces forma grupo carbonilo y radical alquilo	
Hidroperoxilo	Especies reactivas de oxígeno inestables, caracterizadas por el enlace débil O–O y un fuerte potencial oxidante	Si radical hidroxilo interacciona con PS entonces forma radical alquilo y moléculas de agua	
Radical alcóxido	Especies altamente reactivas derivadas de la escisión de hidroperóxidos, caracterizadas por su inestabilidad y capacidad de abstraer hidrógenos, propagando reacciones oxidativas	Si los grupos carbonilo y las olefinas se acumulan en el polímero, entonces se forman PS-NPs por fragilización.	
Radical hidroxilo	Especie reactiva de oxígeno extremadamente inestable y de vida muy corta, con alto poder oxidante y baja	Si PS-NP están presentes en el agua potable, entonces ocurre la ingestión en el organismo humano.	

	selectividad		
Grupo carbonilo	Presenta una marcada polaridad, caracterizada por un carbono electrofílico y un oxígeno nucleofílico, lo que favorece las reacciones de adición nucleofílica y el equilibrio tautomérico ceto-enólico	Si PS-NPs interactúa con proteínas del intestino humano entonces forma proteína-corona	
Nanoplásticos	Con dimensiones inferiores a 1 μm , presentan alta relación superficie/volumen y capacidad de adsorber contaminantes, lo que incrementa su reactividad. Además, pueden atravesar membranas celulares, inducir estrés oxidativo	Si proteína-corona interactúa con proteínas de la membrana celular del enterocitos del intestino humano entonces activa proteínas adaptina del citoplasma.	
Agua potable	potabilidad microbiológica, que refleja el equilibrio entre composición iónica, pH neutro (≈ 7), baja turbidez y conductividad eléctrica moderada, asegurando la estabilidad química y seguridad biológica del sistema acuoso para consumo humano.	Si proteína adaptina interactúa con proteína clatrina entonces forma endosoma dentro del citoplasma.	
Organismo humano	Presenta una red fisiológica integrada cuya propiedad esencial es la regulación homeostática de procesos biológicos interconectados	Si endosoma se fusiona con lisosoma entonces liberan PS-NPs en el citoplasma de la célula epitelial del intestino humano.	
Proteína	Macromoléculas formadas por aminoácidos que presentan carácter anfótero, solubilidad variable y estructuras		

	jerárquicas (primaria a cuaternaria)		
Proteína-co rona	Constituye una interfase biológica dinámica formada por la adsorción de proteínas sobre la superficie de nanopartículas, modificando de manera significativa sus propiedades fisicoquímicas y biológicas		
Proteína adaptina	Proteínas que forman complejos adaptadores (AP), uniendo receptores de membrana a la clatrina, reconociendo señales de carga y regulando el tráfico intracelular de vesículas		
Proteína clatrina	Proteína con forma de triskelion que se autoensambla en redes poliédricas, recubriendo vesículas durante la endocitosis y el tráfico intracelular, siendo crucial para el transporte y el reciclaje de proteínas de membrana		
Endosoma	Orgánulo vesicular que regulan el tráfico intracelular mediante la clasificación de receptores y ligandos, con acidificación progresiva y comunicación con lisosomas, siendo esenciales para la homeostasis y relevantes en procesos patológicos		

Lisosoma	Orgánulo vesicular ácido que contiene enzimas hidrolíticas responsables de la degradación y el reciclaje de biomoléculas, siendo esenciales para la homeostasis celular		
Intestino humano	Barrera selectiva, controlando la permeabilidad intestinal para permitir la absorción de nutrientes y evitar el paso de patógenos, preservando la homeostasis inmunológica.		
Enterócito	Presenta polaridad funcional y alta especialización absorptiva, mediando el transporte selectivo de nutrientes, iones y agua, además de actuar en la modulación inmunológica de la mucosa intestinal.		
Molécula de agua	Presenta una geometría angular ($104,5^\circ$) y alta polaridad, lo que permite la formación de enlaces de hidrógeno direccionales entre moléculas vecinas. Forma una red dinámica que le confiere alta cohesión, alto calor específico, tensión superficial y capacidad de solvatación.		
Membrana celular	Presenta fluidez lipídica dinámica, propiedad que asegura la movilidad lateral de proteínas y lípidos, permitiendo flexibilidad estructural, transporte selectivo y señalización molecular		

	eficiente.		
Citoplasma	presenta una alta concentración macromolecular, formando un medio viscoelástico que limita la difusión de moléculas y regula la dinámica bioquímica y estructural intracelular.		
Célula epitelial	Presenta una cohesión intercelular especializada, mediada por uniones estrechas, adherencias y desmosomas, que mantienen la integridad del tejido y regulan la permeabilidad y polaridad del epitelio.		

Fuente: Elaboración propia.

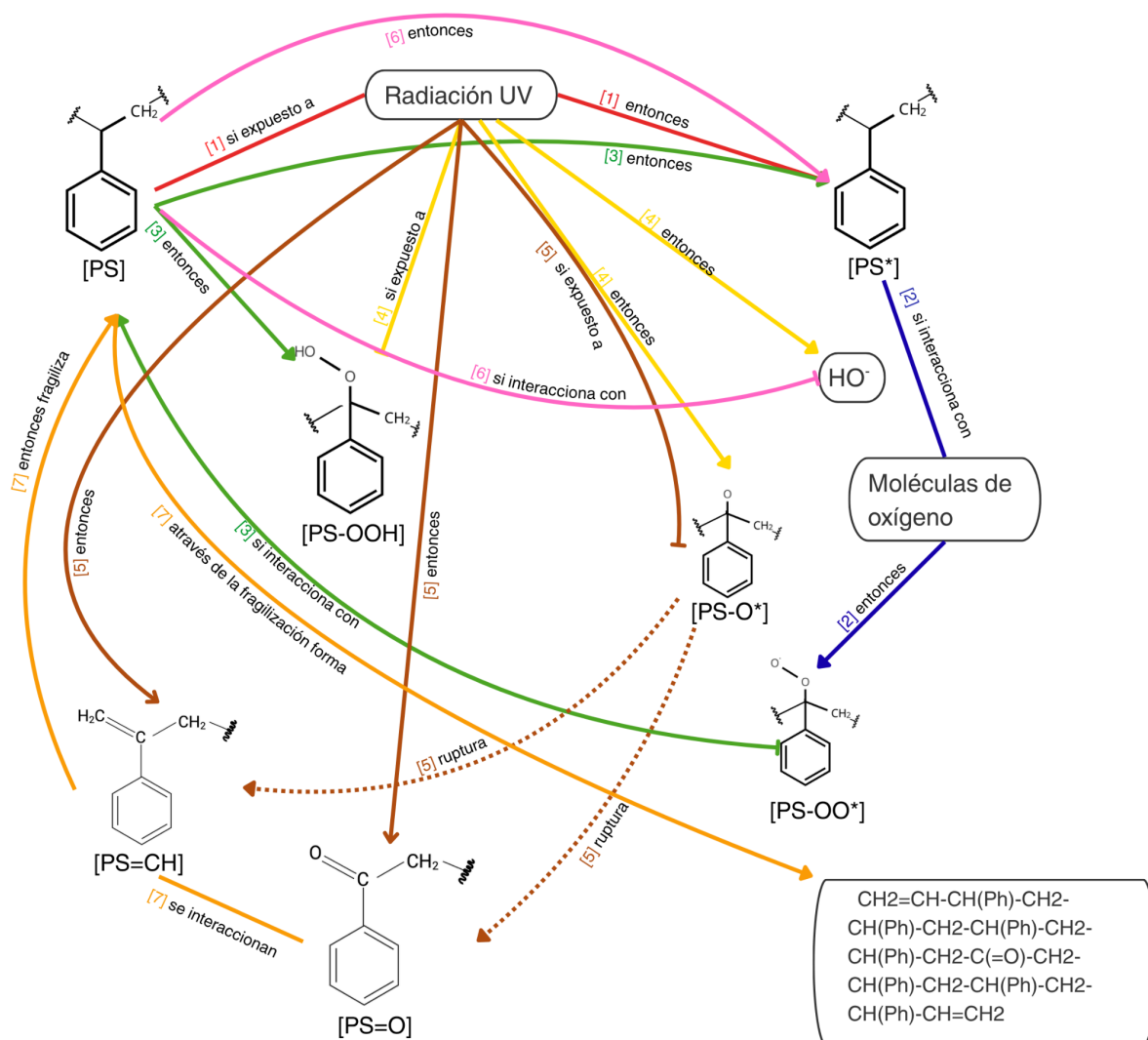
Con base en el MCi propuesto, el modelo que explica la bioacumulación de nanopartículas de poliestireno (PS-NP) en los enterocitos de las células epiteliales intestinales humanas, considera tres procesos fundamentales: (i) **la degradación del poliestireno bajo la influencia de la radiación ultravioleta**; (ii) **la absorción de nanopartículas de poliestireno por el organismo humano**; y (iii) **la interacción de estas partículas con las células epiteliales intestinales, lo que lleva a la posibilidad de bioacumulación**.

Para establecer las inferencias, se utilizó la siguiente pregunta guía: ¿cuáles son las consecuencias de la bioacumulación de PS-NP en las células epiteliales intestinales humanas? La literatura indica que estas partículas pueden acumularse en los tejidos humanos y desencadenar efectos adversos como estrés oxidativo, citotoxicidad, procesos inflamatorios y daño celular.

Considerando que el MCi constituye el modelo de referencia para explicar la FNVE en sus dimensiones ontológicas y epistemológicas, los resultados obtenidos en esta etapa comienzan a proporcionar elementos relevantes para definir criterios de planificación para una secuencia didáctica. Con base en las entidades, propiedades y relaciones de causa y efecto sistematizadas, es posible identificar los componentes conceptuales esenciales para comprender el fenómeno en el contexto educativo.

A partir de la sistematización presentada en la tabla, se construyó un modelo explicativo que representa las relaciones entre las entidades, procesos e interacciones involucradas en el fenómeno estudiado. La Figura 6 sintetiza estas relaciones, destacando los mecanismos fotoquímicos, las transformaciones del poliestireno y sus posibles efectos en el contexto biológico.

Figura 6 – Fotodegradación del poliestireno (PS) y formación de nanopartículas (PS-NP), incluyendo procesos de oxidación y fragmentación.



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

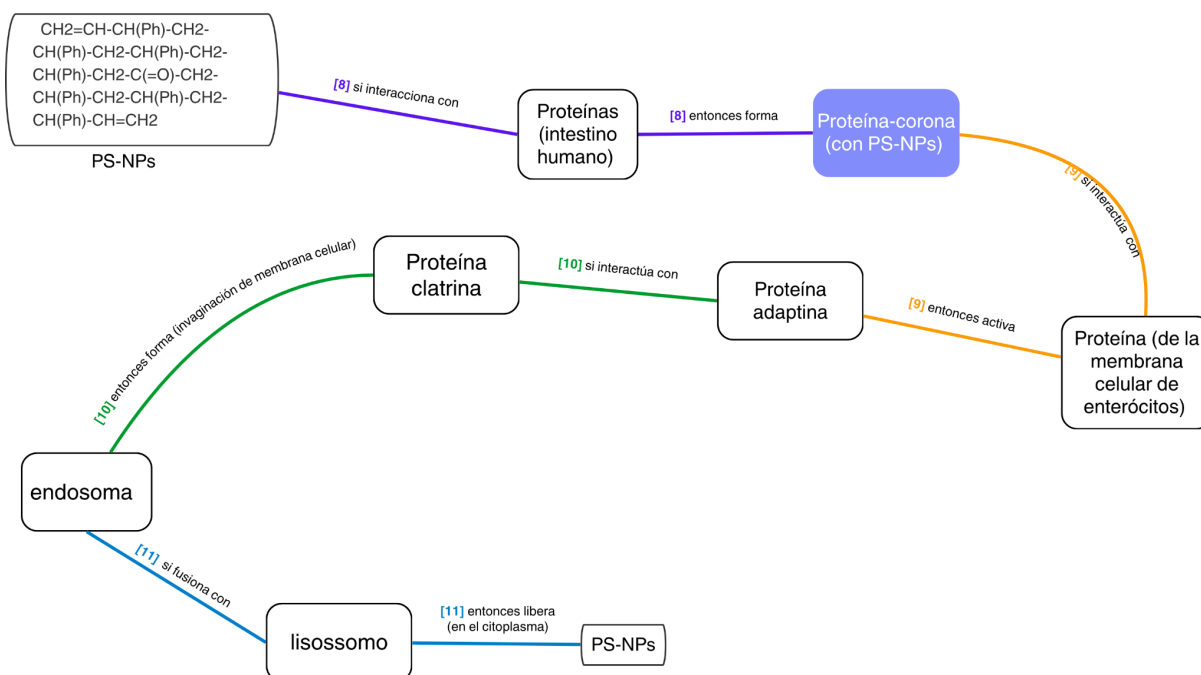
- [1] El PS, si está expuesto a radiación UV, forma un radical alquilo (PS*).
- [2] El radical alquilo, al interactuar con moléculas de oxígeno, forma un radical peroxilo.
- [3] El radical peroxilo, al interactuar con PS, forma un radical alquilo y un hidroperóxido.
- [4] El hidroperóxido, al ser expuesto a radiación UV, forma radicales alcoxilo y hidroxilo.
- [5] El radical alcoxilo, al ser expuesto a radiación UV, forma un grupo carbonilo y un radical alquilo.
- [6] El radical hidroxilo, al interactuar con PS, forma un radical alquilo y moléculas de agua.
- [7] El grupo carbonilo, al interactuar con olefinas, favorece la fragilización del PS y la formación de PS-NP debido a la fotofragmentación superficial.

La lectura del modelo se organiza a partir de la exposición del poliestireno a la radiación UV, representada en la parte superior del esquema. A partir de este punto, se despliegan diferentes rutas de transformación fotoquímica (indicadas por flechas de distintos colores), que conducen a la formación de especies reactivas y productos derivados.

Las interacciones con moléculas de oxígeno y grupos hidroxilo favorecen la generación de radicales, que posteriormente pueden desencadenar procesos de oxidación, fragmentación y formación de nanoplásticos.

Los procesos fotoquímicos representados en la Figura 6 evidencian la transformación del poliestireno en nanopartículas (PS-NPs), estableciendo así el punto de partida del fenómeno investigado. A partir de la generación de estas partículas, se hace necesario comprender su comportamiento en sistemas biológicos. En este sentido, la Figura 7 presenta una posible ruta de interacción de las PS-NPs en el organismo humano, enfocándose en los mecanismos de internalización celular y bioacumulación en enterocitos.

Figura 7 - Representación de una ruta de bioacumulación de PS-NPs en células epiteliales intestinales



Fuente: Elaboración propia..

Leyenda:

[8] Las PS-NPs interactúan con proteínas del intestino humano, formando una proteína-corona.

[9] La proteína-corona interactúa con proteínas de la membrana celular y activa proteínas adaptina en el citoplasma.

[10] La proteína adaptina interactúa con la clatrina, promoviendo la formación de un endosoma en el citoplasma que contiene la proteína-corona.

[11] El endosoma se fusiona con el lisosoma, liberando las PS-NPs en el citoplasma de la célula epitelial intestinal.

Es importante señalar que el modelo representado corresponde a una de las posibles rutas de interacción y bioacumulación de PS-NPs en el organismo humano, construida con

base en evidencias reportadas en la literatura. Dada la complejidad de los sistemas biológicos, existen múltiples mecanismos potenciales de internalización, procesamiento y respuesta celular que no son abordados en este modelo. En este sentido, la representación propuesta no pretende ser exhaustiva, sino ofrecer un marco explicativo coherente y fundamentado que permita comprender relaciones clave entre las entidades y procesos involucrados en el fenómeno estudiado.

En síntesis, el poliestireno expuesto a radiación UV experimenta procesos fotoquímicos que conducen a la formación de nanoplasticos. Una vez en el organismo, estas partículas pueden interactuar con proteínas, modificando sus propiedades fisicoquímicas y aumentando su afinidad por las células epiteliales intestinales. Este proceso favorece su internalización mediante mecanismos como la endocitosis mediada por clatrina, lo que puede derivar en una bioacumulación prolongada en el citoplasma celular y en el desencadenamiento de efectos tóxicos.

A partir de estos elementos, se establecen las bases para la elaboración del MCEA y la definición de criterios para el diseño de la secuencia didáctica. Para ello, resulta necesario generar una tensión entre los tres modelos, con el fin de articular los referentes científicos, las orientaciones curriculares y las concepciones de los estudiantes, garantizando así la coherencia epistemológica, didáctica y formativa. En la siguiente sección, se presenta el MCu y se discute cómo esta tensión contribuye a la construcción de propuestas didácticas consistentes para la educación secundaria.

5.5 MODELO CURRICULAR PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EN ENTERÓCITOS HUMANOS

En la construcción de MCu, fue posible identificar en el currículo oficial brasileño un conjunto de objetos de conocimiento y habilidades que ofrecen soporte conceptual para explicar el fenómeno de la bioacumulación PS-NP en enterocitos del tejido epitelial intestinal.

El análisis de la BNCC y el Currículo de Referencia de Minas Gerais mostró que temas como *Polímeros y materiales, radiación electromagnética, estructura y función celular, membranas biológicas, nanomateriales y sistema digestivo*, son conceptos que ya están incluidos en el currículo escolar y pueden integrarse de forma estructurada. Por lo tanto, el MCu permite definir qué contenidos, relaciones conceptuales y niveles de profundidad son curricularmente legítimos y didácticamente viables para abordar el fenómeno en la educación secundaria, sirviendo como referencia para el desarrollo posterior de la secuencia didáctica.

La Tabla 36 presenta un ejemplo de la identificación de los temas curriculares y su correspondencia con las entidades y relaciones de causa y efecto definidas en el MCI.

Tabla 36 -Temas identificados en los currículos y su correlación con las entidades.

Base Nacional Común Curricular	
Competencia específica	Capacidad
<i>Analizar fenómenos naturales</i> y procesos tecnológicos, basados en las interacciones y relaciones entre materia y energía, para proponer acciones individuales y colectivas que mejoren los procesos productivos, minimicen los impactos socioambientales y mejoren las condiciones de vida a nivel local, regional y global. (BNCC, p. 553)	Utilizando el conocimiento sobre <u>radiación</u> y sus orígenes para evaluar el potencial y los riesgos de su aplicación en equipos de uso diario, en la salud, el medio ambiente, la industria, la agricultura y la generación de electricidad. (EM13CNT103, BNCC, 2018) <u>Evaluar los beneficios y riesgos para la salud y el medio ambiente, considerando la composición, toxicidad y reactividad de los diferentes materiales y productos, así como el nivel de exposición a los mismos.</u> (EM13CNT104, BNCC, 2018) Adoptar una postura crítica y proponer soluciones individuales y/o colectivas para su uso y disposición responsable.
Currículo Referência de Minas Gerais	
Capacidad	Objeto de conocimiento
Analizar y representar, con o sin el uso de dispositivos y aplicaciones digitales específicas, las transformaciones y conservaciones en sistemas que involucran cantidades de materia, energía y movimiento, para realizar predicciones sobre su comportamiento en situaciones cotidianas y en procesos de producción que prioricen el desarrollo sustentable, el uso consciente de los recursos naturales y la preservación de la vida en todas sus formas.	QUÍMICO: <u>Transformaciones físicas y químicas</u> Concepto y representación de las reacciones químicas; Leyes de proporciones definidas; Cantidad de materia y sus relaciones; Constitución de la materia; Simbolismo del átomo; Estequiometría; Flujo de energía y materia en el ecosistema; Sistemas abiertos y cerrados; Termoquímica; Entalpía; Combustibles: tipos, consumo, recursos y medios alternativos. (CRMG, p.185, 2018)

Fuente: Datos de la investigación, 2025.

A partir de los fragmentos curriculares mostrados que mencionan las entidades previamente identificadas, se establecieron las relaciones de causa y efecto necesarias para la comprensión del fenómeno. Este proceso fue orientado por tópicos como: ‘efectos del uso de la radiación’, ‘consecuencias biológicas de la radiación ionizante’, ‘bioacumulación’, ‘reactividad de las sustancias’, ‘interacciones químicas’, ‘composición de los seres vivos’, ‘polímeros’, ‘transporte por membranas celulares’, ‘efectos de la interacción de la radiación

con la materia y nanomateriales' presentes en el Apéndice 18. El resultado de este proceso se estructura en la Tabla 37 a continuación, que presenta las relaciones establecidas entre estas entidades:

Tabla 37 -Relaciones de causa y efecto establecidas con las entidades para el MCu.

E1	Relación	E2	Efecto	Relación causa-efecto
Polímero	Expuesto a	Radiación	forma nanomaterial	Polímero expuesto a radiación forma nanomaterial
Nanomaterial	en contacto con	sistema digestivo	atraviesa la membrana celular	Nanomaterial en contacto con sistema digestivo atraviesa la membrana celular
Polímero	Expuesto a	Radiación	sufre transformaciones química y física	Polímero expuesto a la radiación sufre transformaciones químicas y físicas.

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: E1 - Entidad; E2 - Entidad 2

Con base en estas relaciones establecidas se estructuró el MCu que se presenta en la Tabla 38 a continuación.

Tabla 38 -Modelo curricular propuesto para la FNVE

MCu			
FNVE	Bioacumulación de nanoplástico en el organismo humano		
Pregunta	¿Que MCu explica el fenómeno de bioacumulación de nanoplástico en el organismo humano?		
Condiciones del sistema: polímeros plásticos de PS a cielo abierto (bajo al sol, lluvia y viento) por un lapso de tiempo de meses a años			
Dimensión Ontológica		Dimensión Epistemológica	
Entidad	Propiedad	Relaciones causa-efecto	Inferencia (Después de años, ...)
Polímero		Si polímero está expuesto a radiación ionizante entonces sufre transformaciones química y física	
Radiación (ionizante)		Si polímero está expuesto a radiación entonces forma nanomaterial	
Transformación física y química		Si nanomaterial está en contacto con el sistema digestivo entonces atraviesa la membrana celular	

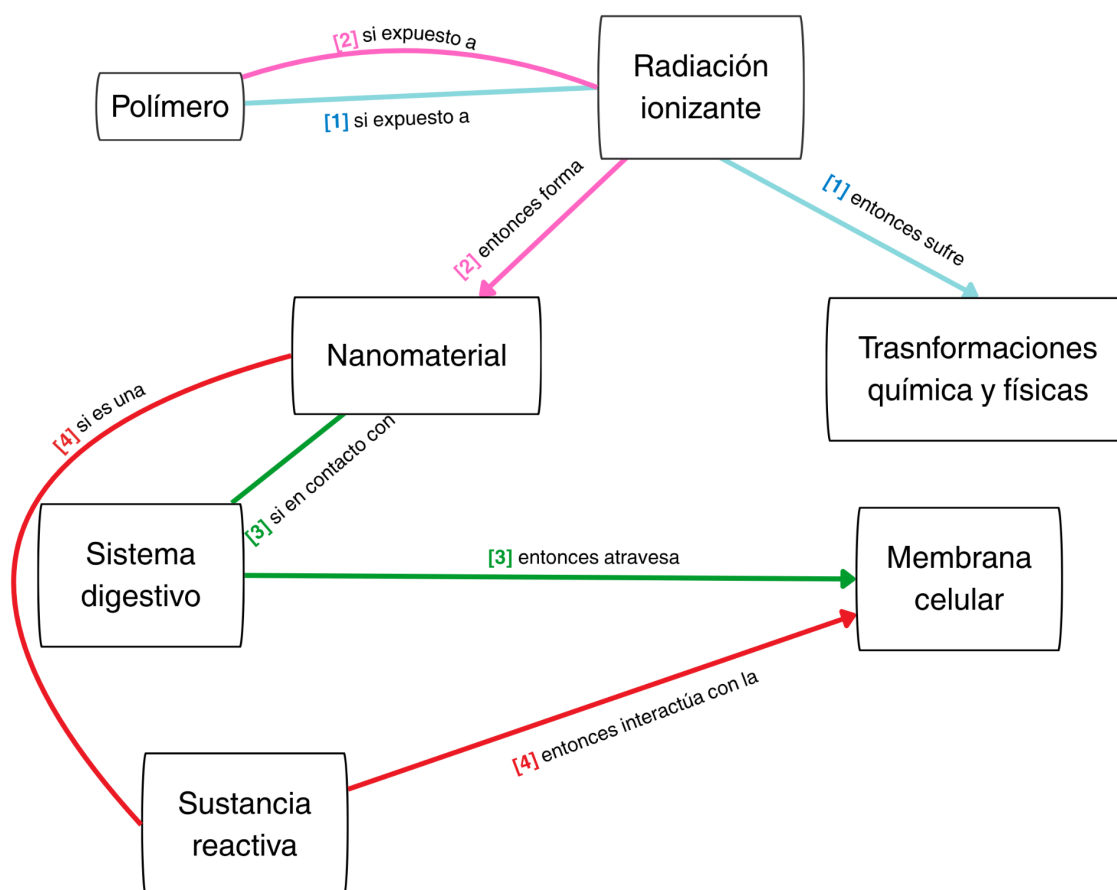
Nanomaterial		Si sustancias reactivas interactúa con la membrana celular entonces acumula nanomaterial	
Sistema digestivo			
Membrana celular			

Fuente: Elaboración propia.

Según el MCu presentado, el fenómeno puede describirse, en términos generales, como un proceso en el que los polímeros expuestos a radiación ionizante experimentan transformaciones físicas y químicas, dando lugar a nanomateriales que, al ser ingeridos, pueden atravesar la membrana celular y acumularse en el interior de las células.

A partir de la sistematización presentada en la tabla, es posible identificar las principales relaciones de causa y efecto que estructuran el fenómeno en el marco del currículo. Con base en estos elementos, se elaboró un modelo representativo que sintetiza dichas relaciones desde una perspectiva curricular, destacando las conexiones entre los conceptos movilizados y las limitaciones en su explicitación.

Figura 8 – Representación del fenómeno según el Modelo Curricular (MCu)



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

- [1] El polímero, al ser expuesto a radiación ionizante, sufre transformaciones físicas y químicas.
- [2] El polímero, al ser expuesto a radiación, puede dar lugar a la formación de nanomateriales.
- [3] El nanomaterial, al entrar en contacto con el sistema digestivo, puede atravesar la membrana celular.
- [4] Si el nanomaterial presenta carácter reactivo, puede interactuar con la membrana celular.

La representación evidencia que el currículo organiza el fenómeno a partir de relaciones generales entre entidades, sin explicitar los mecanismos que sustentan dichas conexiones. Se observa que los procesos de transformación del polímero y la formación de nanomateriales son abordados de manera descriptiva, sin detallar los fundamentos fisicoquímicos implicados. Asimismo, las interacciones con sistemas biológicos aparecen como relaciones directas, sin mediación de modelos explicativos que permitan comprender los procesos de internalización y bioacumulación.

Al contrastar esta representación con el conocimiento científico disponible en la literatura especializada, se evidencia que el currículo no incorpora de manera suficiente los elementos conceptuales necesarios para explicar la bioacumulación de PS-NPs en el organismo humano. En consecuencia, si se considera de forma aislada, el currículo puede conducir a la elaboración de propuestas de enseñanza conceptualmente limitadas.

Esta configuración refuerza la idea de que el MCu privilegia una aproximación simplificada del fenómeno, lo que limita su potencial para sustentar procesos de modelización más elaborados en el contexto educativo.

En particular, las relaciones de causa y efecto presentes en los documentos curriculares revelan lagunas estructurales: no se explicitan los mecanismos físico-químicos que conducen a la degradación del poliestireno ni se ofrece una base conceptual suficiente para comprender los procesos de interacción, internalización y bioacumulación en sistemas biológicos.

Esta limitación no es meramente técnica, sino que tiene implicaciones didácticas directas. Al basarse exclusivamente en el MCu, se corre el riesgo de guiar a los estudiantes hacia la construcción de modelos incompletos y potencialmente ingenuos, insuficientes para explicar: la formación de materiales a escala nanométrica; las transformaciones químicas del polímero durante la degradación; las implicaciones de estas transformaciones para la interacción con la membrana celular; y los mecanismos de internalización y bioacumulación.

En otras palabras, el currículo ofrece un esquema narrativo del fenómeno, pero no garantiza las condiciones epistemológicas necesarias para su modelización en el nivel de especificidad requerido en la educación secundaria. La ausencia de relaciones causales explícitas también imposibilita la formulación de inferencias —elemento central del marco adoptado—, lo que impide que los estudiantes comprendan no sólo "qué sucede", sino también por qué sucede y qué podría suceder si persisten ciertas condiciones.

Este escenario pone de manifiesto una debilidad significativa en la política curricular: se propone la enseñanza de fenómenos complejos y contemporáneos sin asegurar los fundamentos conceptuales necesarios para su comprensión. Por ello, se hace imprescindible articular el MCu con el MCi y el MEI en el marco del MCEA, con el fin de establecer criterios de planificación que sustenten una enseñanza orientada a la comprensión y explicación de fenómenos naturales contextualizados.

5.6 MODELO ESTUDIANTIL INICIAL PARA EL FENÓMENO DE BIOACUMULACIÓN DE NANOPLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EN ENTEROCITOS HUMANOS

El MEI presenta evidencias del pensamiento espontáneo de los estudiantes sobre el FNVE, constituyéndose como una representación organizada de los modelos mentales que orientan su comprensión inicial del fenómeno. A diferencia del MCi y del MCu, que se fundamentan en el conocimiento científico validado y en el currículo establecido, el MEI ofrece acceso a la forma en que los estudiantes conciben ontológica y epistemológicamente el

fenómeno, permitiendo comprender qué explican, cómo explican y qué relaciones causales estructuran sus interpretaciones.

El MEI articula las dimensiones ontológica y epistemológica de las concepciones de los estudiantes. En la dimensión ontológica, identifica las entidades y propiedades que los estudiantes reconocen como relevantes para explicar el fenómeno; en la dimensión epistemológica, evidencia las relaciones de causa y efecto que sustentan sus explicaciones y la capacidad de inferir consecuencias a partir de ellas. Así, el MEI no solo describe ideas previas, sino que revela la lógica interna del razonamiento de los estudiantes y los límites del modelo explicativo que movilizan, constituyendo un conocimiento válido en el ámbito de su pensamiento espontáneo.

En el contexto de este estudio, el MEI se centra en identificar la comprensión que los estudiantes presentan/construyen sobre la degradación del poliestireno (PS), la formación de nanoplásticos (PS-NP), su interacción con el organismo humano y los posibles efectos de la bioacumulación. Los resultados que se presentan a continuación muestran cómo los estudiantes representan este fenómeno, qué entidades reconocen, qué relaciones causales establecen y qué lagunas conceptuales se evidencian en este proceso; elementos esenciales para orientar las decisiones didácticas en el ámbito del MCEA.

Los datos utilizados para la elaboración del MEI provienen del análisis de cuestionarios aplicados a los estudiantes. De manera general, los datos que componen el MEI muestran que los estudiantes reconocen que los polímeros plásticos, en especial el poliestireno, contaminan agua, suelo, aire y ecosistemas, afectando el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, sus explicaciones permanecen predominantemente descriptivas, sin presentar una justificación plausible acerca de cómo ocurren esos efectos. Esta percepción está en consonancia con estudios anteriores que indican que los estudiantes tienden a asociar la contaminación plástica con daños ambientales y a la salud humana, pero con bajo nivel de elaboración causal (MOREIRA; MARZABAL; TALANQUER, 2018).

Los participantes (BOE_12, BOE_18, BOE_16, BOE_17, BOE_14, BOE_2, BOE_9) también atribuyen a liberación de sustancias químicas tóxicas al poliestireno y, en algunos casos, afirman que el material se "*disuelve*" en agua., como en "Con el paso de los años, la botella de plástico se disolverá en el océano, transformándose en nanoplásticos y contaminando el medio ambiente debido a la lenta descomposición del plástico." (Participante BOE_12, 2025)

Otros estudiantes mencionan que los polímeros se "*desintegran*", "*descomponen*" o "*degradan*", pero, una vez más, sin explicar los mecanismos implicados en estos procesos.

Por lo tanto, incluso cuando se menciona la degradación, la explicación sigue siendo vaga y poco fundamentada en conceptos científicos.

Con el paso de los años y el constante cambio climático, los plásticos de poliestireno comienzan a descomponerse en microplásticos. Esto ocurre porque los polímeros son un tipo de cadena de carbono que, debido al desgaste provocado por una eliminación inadecuada, da lugar a la formación de microplásticos. (Participante BOE_18, 2025)

La botella se descompone, liberando polímeros de poliestireno que afectan a los peces, quienes ingieren el plástico involuntariamente, lo que les causa la muerte por su toxicidad. (Participante BOE_16, 2025)

Estos residuos son transportados por el agua e ingeridos por los peces, llegando así a los hogares y siendo ingeridos por las personas. Con el tiempo, los plásticos se degradan, convirtiéndose en pequeñas partículas. (Participante BOE_17, 2025)

Aunque algunos estudiantes reconocen que la degradación del poliestireno puede tener efectos ambientales y nocivos para la salud humana, no explican cómo ocurre dicha degradación, qué productos se forman ni qué significa, desde un punto de vista químico, afirmar que el material "*deteriora el medio ambiente*" (Participante BOE_14). Las respuestas suelen quedar en un plano narrativo, sin explicar las transformaciones moleculares ni las implicaciones biológicas de la presencia de nanoplasticos.

Específicamente en cuanto a la bioacumulación, los estudiantes asocian (Participante BOE_2) frecuentemente la ingestión continua de PS-NP con daños en diferentes órganos y sistemas, mencionando especialmente el hígado, los intestinos, el sistema respiratorio, el sistema inmunitario y el sistema circulatorio. También atribuyen a estas partículas la aparición de irritaciones, infecciones, enfermedades más graves e incluso cáncer. La literatura reciente indica que, de hecho, existe creciente evidencia de los posibles impactos de los microplásticos y nanoplasticos en la salud humana, incluyendo alteraciones gastrointestinales, respuestas inflamatorias, estrés oxidativo, efectos respiratorios y cardiovasculares (QINGYING et al., 2021; MILILLO et al., 2024). En este sentido, se observa que los estudiantes no se equivocan sobre la existencia de riesgos, pero carecen de una comprensión más sólida de los mecanismos que explican dichas consecuencias.

Por lo tanto, si bien reconocen la posibilidad de bioacumulación, no explican los procesos que la hacen posible, como la interacción entre nanopartículas y membranas, los mecanismos de internalización celular o los factores que conducen a la persistencia de las

partículas en el tejido. Por ejemplo, cuando afirman que *"El plástico se acumula en los órganos"* o eso *"Daña el tracto digestivo"* no presentan justificaciones biológicas o químicas para sustentar estas afirmaciones, revelando importantes lagunas en la dimensión epistemológica del modelo que movilizan.

En resumen, el análisis muestra que solo un pequeño número de estudiantes adopta un pensamiento cercano al modelo científico esperado (Participantes BOE_1, BOE_3, BOE_4, BOE_5, BOE_7, BOE_8, BOE_13). La mayoría reconoce la ocurrencia de transformaciones y sus posibles efectos en el cuerpo humano, pero no las explica en términos de relaciones causales ni las basa en propiedades y procesos específicos. Para profundizar en esta comprensión, el análisis examina las dimensiones ontológicas y epistemológicas presentes en estos modelos estudiantiles, paso que sustenta la construcción del MEI.

En la Tabla 39 se presenta un ejemplo de la construcción de relaciones de causa y efecto, mientras que la sistematización completa se puede encontrar en el Apéndice 19 y 20.

Tabla 39 -Relaciones de causa y efecto establecidas con entidades para el MEI

E1	relación	E2	Efecto	Relación causa-efecto	Si... entonces
Plástico	em contato	ácido estomacal	-	-	-
Microplástico	en contacto con	sangre y cerebro	daña el cuerpo humano	El microplástico en contacto con la sangre llega al cerebro	Si el microplástico entra en contacto con la sangre entonces llega al cerebro
Microplástico	en contacto con	el cuerpo	causa infarto	El microplástico en contacto con el cuerpo causa infarto	Si el microplástico entra en contacto con el cuerpo entonces causa infarto
Microplástico	acumulan en	estómago	causa inflamación	El microplástico acumulan en estómago y causa inflamación	Si el microplástico acumulan en estómago entonces causa inflamación
Microplástico	en contacto con	ácido estomacal	sensibiliza el estómago	El microplástico en contacto con ácido del estómago sensibiliza el estómago	Si microplástico entra en contacto con ácido del estómago entonces sensibiliza el estómago

Fuente: Datos de investigación, 2024.

Al analizar los datos presentados anteriormente (y detallados en el Apéndice 19), se observa que los elementos ontológicos y epistemológicos presentes en el pensamiento espontáneo de los estudiantes muestran una correspondencia parcial y, en muchos casos, limitada con los modelos científicos. Incluso cuando afirman que la acumulación de microplásticos o nanoplásticos puede causar enfermedades graves, como el cáncer, las

respuestas no permiten establecer: (i) cómo se forman los microplásticos a partir del poliestireno; (ii) cómo se podrían generar partículas más pequeñas, como las PS-NP; y (iii) cómo estas partículas interactúan con la membrana celular y se internalizan, por ejemplo, mediante endocitosis.

De esta forma, el MEI puede resumirse como se presenta en la Tabla 40.

Tabla 40 -Modelo Estudiantil Inicial para o FNVE.

MEI			
FNVE	Bioacumulación de nanoplástico en el organismo humano		
Pregunta	¿Qué MEI explica el fenómeno de bioacumulação de nanoplástico en el organismo humano?		
Condiciones del sistema: polímeros plásticos de PS a cielo abierto (bajo al sol, lluvia y viento) por un lapso de tiempo de meses a años			
Entidad	Propiedad	Relaciones causa-efecto	Inferência
Botella plástica	Degrada y libera partículas de plástico	Si botella plástica está en contacto con agua entonces libera partículas plásticas	Las partículas de plástico contaminarán el medio ambiente.
Agua		Si plástico esta expuesto en medio ambiente entonces libera partículas plásticas	El nanoplástico contamina y empobrece el suelo
Partícula plástica	Son tóxicos.	Si polímero plástico esta expuesto al clima y rayos UV entonces forma nanoplástico	El microplástico afecta la biodiversidad
Plástico	Tarda en descomponerse/ Se degrada en pequeñas partículas que no desaparecen del todo/ Se convierte en nanoplástico y libera sustancias tóxicas.	Si polímero plástico sufre reacciones químicas entonces forma nanoplástico	Los nanoplásticos envenenan los órganos del cuerpo humano y perjudican la salud porque provocan nódulos en el intestino y enfermedades.
Medio ambiente		Si polímero plástico está expuesto al clima entonces forma partículas de microplásticos	
Polímero plástico	Se descompone en microplástico.	Si PET está en contacto con oceano entonces forma nanoplástico	
Reacciones (química)		Si poliestireno está expuesto a agua entonces forma material desgastado.	
Clima		Si polímero plástico está en contato con agua entonces ocurre reacciones	
Rayos UV		Si microplástico está en contacto con agua entonces acumula en organos y	

		propaga en venas	
Nanoplástico	Perjudica la vida humana y animal/ Es contaminante y corrosivo/ Invisible a simple vista/ Envenena el cuerpo humano/ Pequeña partícula de plástico.	Si nanoplástico está en contacto con alimentos entonces acumula en organos	
Microplástico	Intoxica el cuerpo humano/Pasa por todo el cuerpo humano/Son micropolímeros.	Si microplástico está en contacto con alimento entonces entra en la torrente sanguínea y cumula en organos	
PET		Si nanoplástico interage con corpo humano entonces afecta el sistemas digestivo y respiratório, obstrui venas y propaga en el cerebro	
Oceano		Si polímero plástico entra en contacto con torrente sanguínea entonces afecta el corpo humano	
Poliestireno	Formado por pequeñas partículas de plástico que no desaparecen con el tiempo/Se fragmenta/Formado por una cadena de carbonos.	Si partículas plásticas esta en contacto con torrente sanguínea entonces cumulan en estomago y intestino.	
Material desgastado		Si sustancias interage con el corpo humano entonces cumulan en el estomago	
Órgano		Si nanoplástico esta en contacto con pulmão entonces cumula en los bronquios	
Vena			
Alimento			
Torrente sanguínea			
Corpo humano			
Sistema digestivo			
Sistema respiratório			
Cérebro			

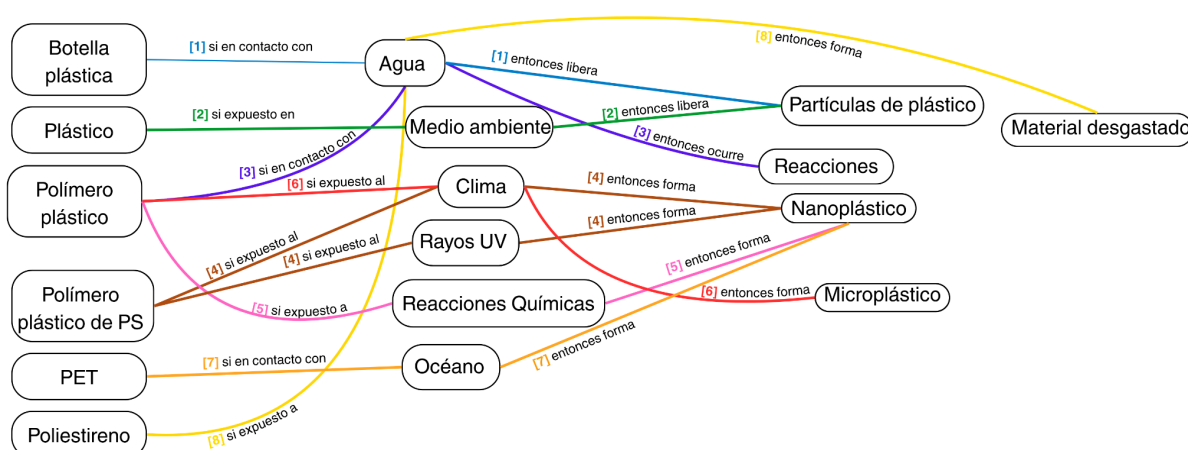
Estómago			
Intestino			
Sustancia			
Pulmón			
Bronquio			

Fuente: elaboración propia.

La construcción del MEI permitió evidenciar características centrales del pensamiento espontáneo de los estudiantes sobre el fenómeno de bioacumulación de PS-NPs en el cuerpo humano y, sobre todo, indica oportunidades formativas. Las representaciones iniciales revelan entidades poco específicas y relaciones causales frágiles, que caracterizan la manera como comprenden el comportamiento prolongado del fenómeno y sus efectos. Sin embargo, estas lagunas deben verse como *demandas cognitivas educativas de los estudiantes*.

A partir de la sistematización de estas producciones, se identificaron diferentes conjuntos de relaciones de causa y efecto. Con el fin de representar estas relaciones de manera más estructurada, se elaboraron dos modelos que sintetizan, por un lado, los procesos de degradación de los polímeros y, por otro, las interacciones de los micro y nanoplasticos con el organismo humano. La Figura 9 presenta las relaciones construidas por los estudiantes en torno a los procesos de degradación de los materiales plásticos, destacando la influencia de factores ambientales como el agua, el clima y la radiación UV en la formación de micro y nanoplasticos.

Figura 9 - Representación de las relaciones de causa y efecto sobre la degradación de polímeros en el Modelo Estudiantil Inicial



Fuente: Elaboración propia.

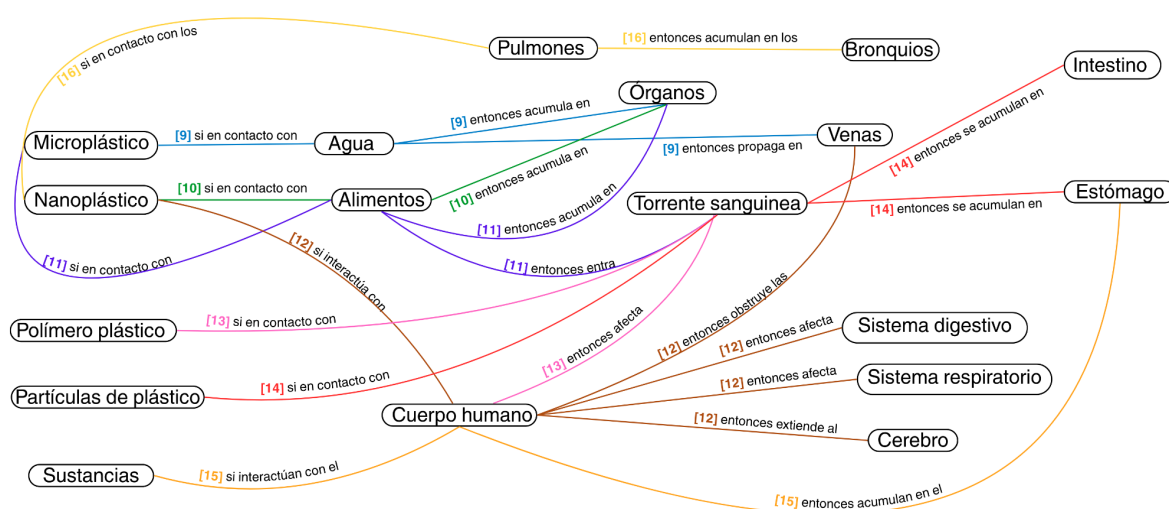
Leyenda:

- [1] Botella plástica si en contacto con agua entonces libera partículas de plástico.
- [2] Plástico si expuesto en medio ambiente entonces libera partículas de plástico.
- [3] Polímero plástico si en contacto con agua entonces ocurren reacciones.
- [4] Polímero plástico de PS si expuesto al clima y los rayos UV entonces forma nanoplastico.

- [5] Polímero plástico si expuesto a reacciones químicas entonces forma nanoplástico.
 [6] Polímero plástico si expuesto al clima entonces forma partículas de microplástico.
 [7] PET si en contacto con océano entonces forma nanoplástico.
 [8] Poliestireno si expuesto a agua entonces forma material desgastado.

Por su parte, la Figura 10 sintetiza las relaciones asociadas a las interacciones de los micro y nanoplásticos con el organismo humano, incluyendo procesos de acumulación, distribución y efectos en diferentes sistemas biológicos.

Figura 10 - Representación de las interacciones de micro y nanoplásticos con el organismo humano según el Modelo Estudiantil Inicial



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

- [9] Microplástico si está en contacto con agua entonces acumula en órganos y propaga en venas.
 [10] Nanoplástico si está en contacto con alimentos entonces acumula en órganos.
 [11] Microplástico si está en contacto con alimentos entonces entra en la torrente sanguínea y se acumula en órganos.
 [12] Nanoplástico si interactúa con el cuerpo humano, afecta a los sistemas digestivo y respiratorio, obstruye las venas y se extiende al cerebro.
 [13] Polímero plástico si entra en contacto con el torrente sanguíneo, afecta al cuerpo humano.
 [14] Partículas de plástico, si entran en contacto con el torrente sanguíneo, se acumulan en el estómago y el intestino.
 [15] Sustancias si interactúan con el cuerpo humano, entonces acumulan en el estómago.
 [16] Nanoplástico si entra en contacto con los pulmones entonces acumula en los bronquios.

En conjunto, ambas representaciones evidencian que el MEI se caracteriza por una comprensión predominantemente lineal y generalizada de los fenómenos. En el caso de la degradación de los polímeros, los estudiantes establecen relaciones causales directas entre exposición ambiental y formación de micro y nanoplásticos, sin explicitar los mecanismos fisicoquímicos subyacentes. En cuanto a las interacciones biológicas, se observa una tendencia a atribuir efectos directos de acumulación y daño en el organismo, incorporando elementos como órganos, sistemas y circulación sanguínea, aunque sin una base mecanicista clara que sustente dichos procesos.

Estas características indican que, si bien los estudiantes movilizan conceptos relevantes, sus modelos presentan un bajo nivel de especificidad y una limitada articulación entre procesos, lo que refuerza la necesidad de tensionar el MEI con el MCi y el MCu para promover una comprensión más consistente del fenómeno.

El MEI, al hacer visibles las fragilidades y potencialidades del pensamiento de los estudiantes, ofrece informaciones para la planificación de intervenciones didácticas dirigidas. Permite identificar qué entidades necesitan ser explicitadas, qué propiedades requieren ser profundizadas y qué relaciones causales deben construirse y discutirse para promover avances en la comprensión y explicación del fenómeno. Así, contribuye a delinear trayectorias de enseñanza que posibilitan avanzar de explicaciones ingenuas y fragmentadas hacia modelos explicativos más consistentes, favoreciendo la formación de un pensamiento más próximo de los referentes científicos que fundamentan la comprensión de la bioacumulación de PS-NPs.

En ese sentido, el MEI no solo describe el pensamiento espontáneo, sino que actúa como un orientador para la enseñanza, señalando caminos para la organización de propuestas didácticas que promuevan procesos de modelización, elaboración causal y construcción de inferencias, elementos esenciales para un aprendizaje científico significativo.

5.7 TENSIONAMIENTO Y MCEA

Esta sección presenta los resultados de la comparación entre los modelos previamente contruidos, con especial atención a los componentes ontológicos, es decir, a las entidades y propiedades consideradas relevantes para explicar el fenómeno. La comparación entre MCi, MCu y MEI permitió identificar elementos convergentes, complementariedades y brechas, lo que resultó en la selección de aquellos que ahora se integrarán en el MCEA.

La Tabla 41 presenta las entidades que componen el MCEA, así como sus respectivas propiedades, destacando las justificaciones para su incorporación en términos de relevancia científica, importancia curricular y potencial formativo. Con base en este resultado, se consolida el modelo de escuela de referencia que guiará la propuesta didáctica desarrollada en este trabajo.

Tabla 41 -Tensión entre entidades sobre la composición del MCEA.

Tensión constituyente ontológica (entidades)			
MCi	MCu	MEI	MCEA
Poliestireno	<i>Polímero</i>	<i>Botella de plastico</i>	Polímero
Radiación UV	Radiación UV	Polímero plástico	Poliestireno
Radical alquilo	Nanomateriais	Plástico	Nanoplástico

Molécula de oxígeno	Célula	Polímero plástico de poliestireno	Radiación UV
Radical peroxilo	Membrana celular	PET	Célula
Hidroperoxilo		Poliestireno	Membrana celular
Radical alcoxil		Polímero de poliestireno	Proteína
Radical hidroxilo		Plástico de poliestireno	Endosoma
<i>Grupo carbonilo</i>		Água	Lisosoma
Nanoplástico		Meio ambiente	Radical
Proteína		Clima	Grupo carbonilo
Proteína corona		Rayos UV	Proteína Corona
<i>Proteína adaptina</i>		Nanoplástico	
<i>Proteína clatrina</i>		Reacción química	
<i>Endosoma</i>		Clima	
<i>Lisosoma</i>		Oceano	
		Partículas de plástico	
		Microplástico	
		Sustancia	
		Alimento	
		Cuerpo humano	
		Torrente de sangre	
		Pulmón	
		Sistema Digestivo	

Fuente: elaboración propia.

De forma similar al procedimiento realizado con las entidades, también se tensionaron las propiedades, lo que constituye otro elemento fundamental del MCEA. Este resultado se presenta en el Apéndice 22.

En cuanto a las relaciones e inferencias de causa y efecto, el proceso siguió la misma lógica de tensión; sin embargo, no se trató simplemente de seleccionar elementos existentes en modelos previos. Fue necesario reconstruir algunas relaciones e inferencias, ya que estas deben ser consistentes con los componentes ontológicos definidos y la estructura conceptual del modelo. Considerando que el MCEA no es una simple suma de MCi, MCu y MEI, sino un nuevo modelo —surgido del diálogo entre ellos—, se hizo esencial establecer nuevas relaciones e inferencias causales, consistentes simultáneamente con el conocimiento científico de referencia, el currículo escolar y el pensamiento estudiantil.

A partir de las tensiones creadas entre las entidades y propiedades de los tres modelos, fue posible estructurar un modelo que incorpora, de forma articulada, la relevancia científica, la legitimidad curricular y el potencial formativo. Este proceso permitió la selección, el ajuste y, cuando fue necesario, la reconstrucción de elementos conceptuales para constituir un

modelo que no se limite a reproducir ninguno de los anteriores, sino que surja de la tensión entre ellos.

De esta manera, se consolida el MCEA, que guía la explicación del fenómeno en el contexto escolar de la educación secundaria y sienta las bases para el desarrollo de la propuesta didáctica. La Tabla 42 presenta la sistematización final de este modelo.

Tabla 42 - Modelo Científico Escolar de Arribo para el FNVE.

MCEA			
FNVE	Bioacumulación de nanoplástico de poliestireno en las células del intestino humano		
Pregunta	¿Qué MCEA explica el fenómeno de bioacumulación de nanoplástico de poliestireno en las células del intestino humano?		
Condiciones del sistema: polímeros plásticos de PS a cielo abierto (bajo al sol, lluvia y viento) por un lapso de tiempo de meses a años			
Dimensión Ontológica		Dimensión Epistemológica	
Entidad	Propiedad	Relaciones causa-efecto	Inferencia
Polímero	Macromolécula formada por la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros.	Si polímero de poliestireno esta expuesto a radiación UV entonces forma radicales	Polímero de PS expuesto a rayos UV y oxígeno del aire se degrada en nanoplástico (PS-NPs) debido a transformaciones química y física
Poliestireno	Polímero termoplástico amorfo caracterizado por su baja conductividad térmica. Bajo condiciones ambientales no se degrada completamente y forma fragmentos	Si radical esta expuesto a radiación UV y moléculas de oxígeno entonces forma grupo carbonilo	PS-NPs recubiertos de proteínas - proteína-corona interactúan con proteínas de la membrana celular y penetran en la célula mediante endocitosis
Radiación UV	Radiación electromagnética no visible, comprendida entre 10 y 400 nm en el espectro. Su origen puede ser natural, principalmente solar. Debido a alta energía puede inducir reacciones fotoquímicas.	Si los grupos carbonilo y las olefinas se acumulan en el polímero, entonces se forman PS-NPs por fragilización.	Bioacumulación prolongada de PS-NPs en el citoplasma de la célula, presenta potencial para inducir inflamación y estrés oxidativo.

Radical	Especie reactiva altamente inestable que actúa en la propagación de reacciones oxidativas	Si PS-NP están presentes en el agua potable, entonces ocurre la ingestión en el organismo humano.	
Molécula de oxígeno	Molécula formada por dos átomos (O ₂). En su forma natural tiene un comportamiento magnético y puede reaccionar fácilmente con otras sustancias, actuando como un fuerte agente oxidante.	Si PS-NPs presente en organismo humano interacciona con proteínas del intestino humano entonces forma proteína-corona.	
Grupo carbonilo	Presenta una marcada polaridad, caracterizada por un carbono electrofílico y un oxígeno nucleofílico, lo que favorece el equilibrio tautomérico ceto-enólico	Si proteína-corona interacciona con proteínas de la membrana celular entonces forma endosoma en el citoplasma.	
Nanoplástico	Presenta dimensiones inferiores a 1 µm, presentan alta relación superficie/volumen y capacidad de atravesar membranas celulares y acumula en tejidos.	Si endosoma se fusiona con lisosoma entonces liberan PS-NPs en el citoplasma de la célula del intestino humano.	
Agua potable	Potabilidad del agua se relaciona con su calidad, que depende de tener una composición equilibrada, un pH cercano a 7, poca turbidez y una cantidad moderada de sales disueltas, garantizando que sea químicamente estable y segura para el consumo humano		
Organismo humano	Presenta un sistema en el que todos los órganos y procesos están conectados y se regulan entre sí para mantener el equilibrio interno y el buen funcionamiento del organismo.		

Proteína	Macromoléculas formadas por aminoácidos que presentan carácter anfótero, solubilidad variable y estructuras jerárquicas (primaria a cuaternaria)		
Proteína-corona	Formada por la adsorción de proteínas sobre la superficie de nanopartículas modificando sus propiedades fisicoquímicas y biológicas		
Endosoma	Orgánulo vesicular que regula el tráfico intracelular mediante la clasificación de receptores y conectando con lisosomas		
Lisosoma	Orgánulo vesicular que contiene enzimas hidrolíticas responsables de la degradación y el reciclaje de biomoléculas, siendo esenciales para la homeostasis celular(16)		
Membrana celular	Estructura que rodea a las células vivas formada por una capa de fosfolípidos y proteínas con un espesor de 7,5 a 10 nm.		
Célula	Unidad estructural y funcional de los seres vivos. Estructuras más pequeñas capaces de realizar funciones vitales.		
Citoplasma	Presenta muchas sustancias disueltas y es algo espeso, lo que hace que las moléculas se muevan más despacio y que las reacciones dentro de la célula ocurran de manera controlada.		

Intestino humano	Actúa como una barrera que deja pasar los nutrientes necesarios y evita el ingreso de microbios dañinos, ayudando a mantener el equilibrio y la defensa del cuerpo.		
------------------	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Es importante precisar cómo se realiza la lectura de la tabla que representa el MCEA —y, de forma análoga, de las tablas correspondientes a los otros modelos—. La estructura de la tabla se organiza en dos componentes principales: el ontológico y el epistemológico.

Las primeras columnas corresponden al componente ontológico, en el que se identifican las entidades y sus respectivas propiedades, es decir, los elementos necesarios para describir el fenómeno. Por su parte, las columnas siguientes corresponden al componente epistemológico, en el que se explicitan las relaciones de causa y efecto entre dichas entidades, permitiendo la construcción de explicaciones sobre el comportamiento del sistema.

Es importante señalar que no todas las celdas de la tabla estarán necesariamente completas, especialmente en lo que respecta a las relaciones causales. Esto se debe a que la formulación de una relación de causa y efecto requiere la articulación de dos o más entidades, por lo que no todas las entidades identificadas establecen relaciones directas en una misma fila.

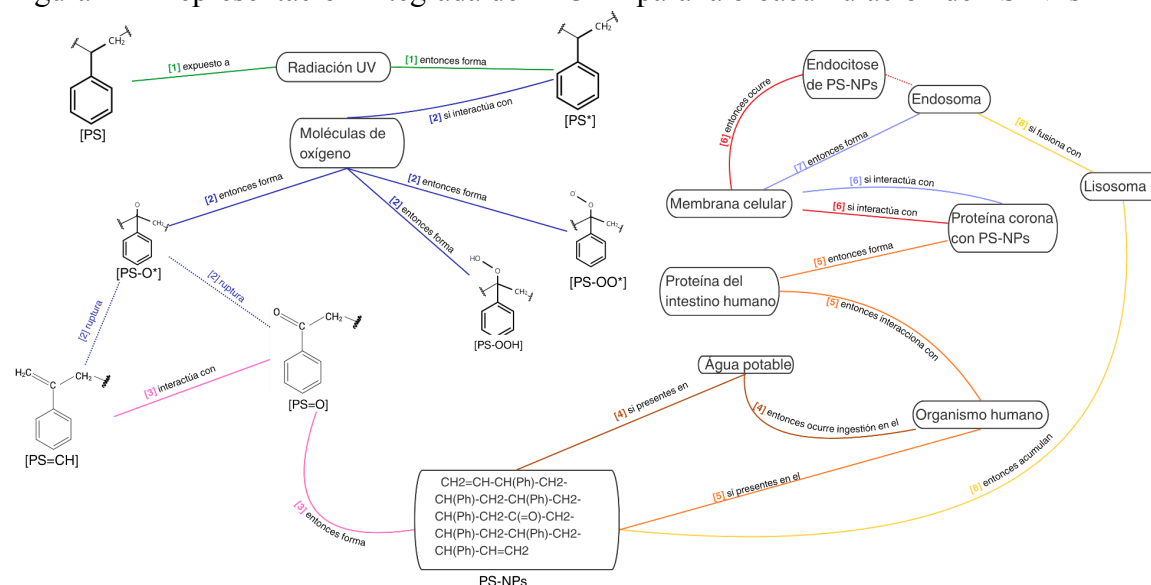
En este sentido, la lectura de la tabla no debe interpretarse de manera lineal, sino como un sistema de relaciones en el que las entidades, sus propiedades y sus interacciones permiten explicar el fenómeno y formular inferencias sobre su comportamiento, posibilitando incluso la anticipación de efectos bajo determinadas condiciones.

Con el desarrollo del MCEA, concluye la segunda etapa de esta investigación, consolidando un modelo científico escolar que integra, de forma articulada, la solidez científica del MCI, la legitimidad curricular del MCu y la evidencia del pensamiento estudiantil expresado en el MEI. El modelo resultante redefine estas tres dimensiones en una estructura explicativa y significativa dentro del contexto escolar, capaz de guiar la enseñanza del fenómeno de la bioacumulación de PS-NP de forma teóricamente consistente y didácticamente viable.

Con el fin de sintetizar las relaciones ontológicas y epistemológicas que componen el modelo, se elaboró una representación que integra los principales procesos, entidades e interacciones implicadas en el fenómeno. Esta representación permite visualizar de manera

articulada la secuencia de transformaciones desde la degradación del polímero hasta su bioacumulación en sistemas biológicos.

Figura 11 - Representación integrada del MCEA para la bioacumulación de PS-NPs



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

- [1] Si el polímero de poliestireno está expuesto a radiación UV, entonces forma radicales libres.
- [2] Si los radicales libres interactúan con radiación UV y moléculas de oxígeno, entonces se forman grupos carbonilo, olefinas y oligómeros.
- [3] Si los grupos carbonilo y las olefinas se acumulan en el polímero, entonces se forman PS-NPs por fragilización.
- [4] Si las PS-NPs están presentes en el agua potable, entonces pueden ser ingeridas por el organismo humano.
- [5] Si las PS-NPs en el organismo humano interactúan con proteínas intestinales, entonces se forma una proteína-corona adsorbida.
- [6] Si la proteína-corona interactúa con proteínas de la membrana celular, entonces ocurre endocitosis.
- [7] Si ocurre la endocitosis de PS-NPs, entonces se forman endosomas.
- [8] Si los endosomas se fusionan con lisosomas, entonces las PS-NPs se acumulan en lisosomas intestinales.

La representación evidencia la articulación progresiva de procesos fisicoquímicos y biológicos que permiten explicar el fenómeno de la bioacumulación de PS-NPs desde una perspectiva integrada. A diferencia de los modelos analizados previamente, el MCEA explicita los mecanismos subyacentes a cada etapa del proceso, estableciendo relaciones causales que conectan la degradación del polímero con su interacción en sistemas biológicos.

Esta integración permite no solo comprender el fenómeno en términos de sus componentes, sino también establecer inferencias sobre su comportamiento en diferentes condiciones, lo que constituye un elemento central para la construcción de explicaciones científicas en el contexto educativo.

Este resultado representa un hito en la investigación, ya que proporciona los referentes ontológicos y epistemológicos necesarios para la planificación de intervenciones didácticas

fundamentadas en procesos de modelización. A partir del MCEA, se torna posible delinear una SD que promueva la construcción progresiva de explicaciones, el establecimiento de relaciones causales, la elaboración de inferencias y el desarrollo de una comprensión crítica del fenómeno en el contexto escolar.

De esta forma, en la próxima sección se presenta una propuesta de SD derivada de este modelo, discutiendo su organización, intencionalidad formativa y su potencial para contribuir a la construcción de conocimiento científico escolar en los estudiantes.

5.8 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

La construcción de la propuesta SD requirió la identificación de *demandas cognitivo-educativas* de los estudiantes participantes, con base en las respuestas a los cuestionarios que respaldaron el desarrollo del MEI. Estas demandas fueron fundamentales para destacar las discrepancias existentes entre el MEI y el MCEA. Si bien parte de este proceso se abordó en la fase de tensión, el desarrollo del SD requirió un refinamiento de este análisis, con el objetivo de identificar específicamente lo que los estudiantes necesitan comprender o construir, a la luz del MCEA, para explicar de manera coherente el fenómeno investigado.

Más precisamente, el estudio buscó reconocer tanto los pensamientos espontáneos de los estudiantes sobre las entidades y propiedades involucradas como el nivel de profundidad conceptual necesario para construir explicaciones más elaboradas. Desde esta perspectiva, el análisis de las respuestas permitió establecer un paralelismo entre el pensamiento de los estudiantes y el marco del MCEA, orientando la definición de las intervenciones didácticas propuestas.

Por ejemplo, el estudiante que respondió: *"Estos polímeros suceden por causa de residuos de basura que se han acumulado en el río"* menciona la entidad *"polímero"*, pero no explicita las transformaciones ocurridas en el material. Esta respuesta evidencia una comprensión restringida al nivel fenomenológico, sin contemplar las dimensiones ontológica y epistemológica del fenómeno. Así, para este estudiante, se hace necesario proponer actividades que favorezcan el reconocimiento de las entidades que intervienen en el proceso de degradación de los polímeros (dimensión ontológica) y la comprensión de los mecanismos asociados a ese proceso (dimensión epistemológica).

De manera análoga, la respuesta de otro estudiante que afirmó: *"En la primera figura se observan plantas, peces y otros seres vivos, así como la acción humana, con el descarte de*

basura en el río, perjudicando el ambiente. La segunda imagen muestra que, con el paso de los años, los mismos seres vivos han desaparecido debido a la acción humana", revela una lectura orientada a los aspectos sistémicos del ambiente, al reconocer componentes y alteraciones provenientes de la acción antrópica. Sin embargo, no hay referencia a las entidades químicas ni a las transformaciones subyacentes al fenómeno, lo que denota fragilidades en la articulación entre los diferentes niveles de explicación. Para este estudiante, también se hacen necesarias actividades que promuevan la identificación de todas las entidades involucradas (dimensión ontológica) y la comprensión de los procesos de degradación de polímeros (dimensión epistemológica).

A la luz de estos hallazgos, las actividades propuestas en el SD fueron planificadas para abordar las necesidades cognitivas identificadas, permitiendo a los estudiantes avanzar hacia el MCEA, entendido como el modelo de referencia para la comprensión científica del fenómeno en estudio.

Los resultados de este proceso analítico se encuentran en el Apéndice 22, donde se encuentran los instrumentos y registros desarrollados a partir de las demandas cognitivas identificadas. La construcción de estos resultados se guió por la búsqueda de respuestas a un conjunto de preguntas orientadoras, formuladas con el fin de delimitar el conocimiento necesario para comprender el fenómeno investigado. Entre estas preguntas, destacan las siguientes:

¿Cuáles entidades necesita conocer el estudiante para comprender el fenómeno?

¿Cuáles entidades están evidenciadas en el MEI?

¿Cuáles entidades necesitan ser introducidas o profundizadas?

¿Cuáles propiedades deben comprenderse para explicar los procesos involucrados en el fenómeno?

¿Cuáles propiedades fueron mencionadas en el MEI y cuáles aún requieren abordaje?

¿Cuáles relaciones de causa y efecto necesitan establecerse para consolidar la comprensión del fenómeno?

¿Cuáles de estas relaciones fueron presentadas por los estudiantes y cuáles demandan mayor intervención didáctica ?

Estas preguntas guiaron la sistematización de la evidencia obtenida y sirvieron de base para definir los enfoques conceptuales que se abordarían en las actividades de SD. Así, en la siguiente tabla, podemos identificar los componentes de las actividades que se desarrollarían a lo largo del SD para cada demanda presentada por los estudiantes:

Tabla 43 -La relación entre las demandas cognitivo-educativas y las actividades propuestas.

Demanda cognitivo-educativa	Objetivo	Componentes de la actividad
Enumerar las entidades que intervienen en el proceso de degradación del poliestireno. Asociar los factores y condiciones del sistema con el proceso de degradación. Identificar que la exposición a la radiación UV inicia la fotodegradación debido a las interacciones con el material a largo plazo.	Identificar los componentes ontológicos y epistemológicos de la degradación.	1. Trabajar el fenómeno explicitando cuáles entidades participan en el proceso de degradación del poliestireno. 1.1 Transformación química y física - modificaciones que ocurren con los polímeros expuestos a la radiación UV, en presencia de oxígeno, específicamente el poliestireno. 1.2 Energía - características de la radiación UV que explican la interacción entre esta forma de energía y los polímeros 1.3 Ruptura entre C-H - identificar las características de los enlaces presentes en los polímeros para explicar cómo ocurren las transformaciones de estos materiales.
	Identificar las condiciones del sistema que permiten el proceso de degradación.	2. Asociar las condiciones del sistema con el proceso de degradación. 2.1 Reacción del poliestireno con el oxígeno.- Aunque el proceso se clasifica como fotooxidación, ya que se inicia a partir de la interacción con la radiación UV, la presencia de oxígeno es lo que dará lugar a la formación de los compuestos.
Explicar el proceso de degradación del poliestireno. Comprender que el nanoplástico es uno de los productos de la degradación. Diferenciar la degradación y la bioacumulación en el organismo.	Comprender que el proceso de degradación genera diferentes productos	3. Diferenciar los productos de degradación. 3.1 Formación de compuestos intermedios - demuestra que el proceso de degradación es un ciclo en el que los productos del proceso de oxidación interactúan entre sí y con el reactivo inicial. 3.2 Formación de radicales (carbonilo) 3.3 Interacción intermolecular: identificar que la interacción de dos productos de degradación conducirá a la

		formación de nanoplástico. 3.4 Enlace de hidrógeno
Enunciar las entidades que intervienen en el proceso de absorción y bioacumulación. Comprender que las partículas pueden atravesar las membranas biológicas debido a su tamaño y reactividad, induciendo efectos tóxicos.	Evidenciar la relación entre las propiedades de los nanoplásticos y la reactividad.	4. Caracterizar el nanoplástico según sus propiedades. 4.1 Identificar tamaños que caracterizan a un nanomaterial 4.2 Reconocer la influencia de la superficie de contacto en la reactividad de los nanomateriales
Reconocer que las células son pequeñas estructuras capaces de realizar todas las funciones vitales. Comprender que la membrana plasmática es una estructura que recubre a las células y presenta permeabilidad selectiva para ciertas especies, según tamaño y características químicas. Identificar qué proteínas cubren la membrana celular.	Identificar los componentes ontológicos y epistemológicos de la bioacumulación.	6. Reconocer las entidades que participan en el proceso de bioacumulación. 6.1 Célula 6.2 Membrana celular 6.3 Proteína 6.4 Endosoma 6.5 Lisosoma
Enunciar y explicar el proceso de bioacumulación. Entender que el endosoma es el orgánulo responsable del proceso de endocitosis. Comprender que los lisosomas son los responsables de la digestión celular y, por tanto, cuando no logran eliminar los nanoplásticos se produce bioacumulación.	Comprender las relaciones entre los componentes y el proceso de bioacumulación.	7. Comprender que la interacción ocurre a nivel celular con las entidades involucradas en el proceso de absorción. 7.1 Ajuste inducido 7.2 Invaginación 7.3 Formación de la proteína corona que transporta PS-NP 7.4 Enterócitos 7.5 Endocitose 7.6 Endolisossoma 7.7 Enzimas digestivas 7.8 Citoplasma

Distinguir entre bioacumulación y simple contacto.		
Reconociendo que la acumulación intracelular puede generar efectos fisiológicos (estrés, inflamación, disfunción).		

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la Tabla 44 presenta la estructura completa del SD elaborado, siguiendo una progresión de complejidad explicativa: desde el nivel fenomenológico, incorporando componentes ontológicos y epistemológicos correspondientes a las entidades, mecanismos y procesos presentes en el fenómeno, hasta la transferencia a una nueva situación problema propuesta en la última actividad. Cada etapa respeta el ciclo de modelización (**Elaboración - Representación - Prueba - Evaluación**), lo que promueve la revisión continua de los modelos explicativos de los estudiantes guiados en el MCEA.

Tabla 44 -Secuencia didáctica sobre la bioacumulación de PS-NP en células humanas.

Pregunta guía: ¿Qué pasa cuando ingerimos nanoplásticos?			
FNVE: Bioacumulación de PS-NPS en células intestinales humanas			
Objetivo general: Comprender el fenómeno de la bioacumulación de nanoplásticos en células humanas mediante la construcción de modelos explicativos. Promover la interpretación y la explicación basadas en el conocimiento científico.			
Objetivos específicos: Identificar los componentes ontológicos y epistemológicos de la degradación; Identificar las condiciones del sistema que permiten el proceso de degradación; Comprender que el proceso de degradación genera diferentes productos; Resaltar la relación entre las propiedades de los nanoplásticos y la reactividad; Identificar los componentes ontológicos y epistemológicos de la bioacumulación; Comprender las relaciones entre los componentes y el proceso de bioacumulación.			
Etapas	Criterio	Tiempo	Recursos
1	Identifique las entidades polímero, poliestireno y radiación UV para explicar las transformaciones que ocurren en el material. Asocie las condiciones del sistema con el proceso de degradación. Establecer relaciones causales integradas entre el medio ambiente y el organismo.	50 min	Video Cuestionario Registro

	Descripción: La clase comienza con la proyección del vídeo "El impacto de los microplásticos en el medio ambiente" o Microplásticos: lo que no vemos pero respiramos, comemos y absorbemos en el cual se presentan imágenes reales de plásticos fragmentados en ríos y mares, y microplásticos en agua potable. Tras los videos (de 2 a 5 minutos), se muestran diapositivas con micrografías de nanoplasticos en glóbulos rojos humanos, extraídas de artículos científicos. La siguiente es una evaluación diagnóstica que contiene tres preguntas abiertas: 1. ¿Qué pasa con los plásticos desechados en el medio ambiente? 2. "¿Cómo pueden los nanoplasticos llegar al cuerpo humano?" 3. ¿Qué problemas de salud pueden causar estos nanoplasticos? Los estudiantes pueden responder estas preguntas y anotarlas en sus cuadernos o en materiales aparte, con 15 minutos para responder. Posteriormente, el profesor escribe las ideas principales planteadas en la pizarra, organizando según la siguiente estructura: "Residuos plásticos → [¿condiciones y proceso?] → Nanoplasticos → [¿condiciones y mecanismo?] → Cuerpo humano → [¿efectos?]" La idea es destacar las lagunas que surgen (entidades químicas en el proceso de fotooxidación, entidades biológicas en el proceso de bioacumulación y relaciones causales), que servirán como ganchos conceptuales para las siguientes etapas del SD. La clase concluye con la explicación del profesor: "Con base en las lagunas identificadas, investigaremos sistemáticamente cada etapa del proceso".		
2	<table border="1" data-bbox="357 1010 1133 1400"> <tr> <td data-bbox="357 1010 917 1400">Comprender las transformaciones químicas/físicas del PS y relacionarlas con las condiciones del sistema.</td><td data-bbox="917 1010 1133 1400">100 a 120 min</td></tr> </table> Experimento (Adaptado de: Fotodegradación de polímeros acompañada de infrarrojos: un tutorial) Diapositivas que muestran el proceso de degradación. Descripción: Comienza con un repaso de la lección anterior (20 min), centrándose en la sección: "Eliminación → [degradación] → nanoplasticos". El profesor presenta el enfoque de investigación: "¿Cómo se transforma el poliestireno al exponerse a la radiación UV?", explicando que se realizará una actividad experimental en grupos. Desarrollo – Hipótesis inicial (10 min) Antes de comenzar el experimento, cada equipo (3-4 estudiantes) recibe una hoja de planificación con las preguntas: "¿Qué esperan observar? ¿Por qué cambia el material? ¿Qué factores influyen?". Los grupos registran sus hipótesis iniciales. Prueba – Experimento adaptado de SBQ (75 min) Experimento: "Fotodegradación de poliestireno acompañada de observación directa" (adaptado de [RVQ, SBQ]) Montaje por grupo: - 3 muestras de PS (poliestireno/espuma): 2x2 cm cada una - Exposición: 1) Control (oscuridad); 2) Luz solar directa; 3) UV artificial (lámpara UV) - Observaciones cada 15 minutos (hasta 75 minutos): color, fragilidad, fragmentación - Prueba física: intentar romper las muestras con pinzas.	Comprender las transformaciones químicas/físicas del PS y relacionarlas con las condiciones del sistema.	100 a 120 min
Comprender las transformaciones químicas/físicas del PS y relacionarlas con las condiciones del sistema.	100 a 120 min		

	Entrada de datos en una tabla a intervalos de 15 minutos: Tiempo Color Fragilidad Fragmentos Hipótesis revisada Representación - explicación a través del conocimiento científico (25 min) Tras realizar el experimento, el profesor revisa las principales observaciones de los estudiantes, las describe en la pizarra y pregunta: "¿Cómo se puede explicar lo que observan (amarilleo, fragilidad) con conocimientos químicos?". En este punto, se utilizan diapositivas para repasar la estructura, presentar el proceso y los productos formados. Diapositiva 1: Estructura molecular PS → cadena larga → enlaces C-H Diapositiva 2: Radiación UV → energía → escisión C-H → radicales libres Diapositiva 3: Radicales + O₂ → peroxidación → rotura de cadena → NP Con base en lo presentado, se les pide a los estudiantes que intenten relacionar las transformaciones con lo que observaron y registraron. En este punto, es probable que surjan preguntas con el docente, quien mediará entre el contenido y las percepciones de los estudiantes. Evaluación (20 min) Cada grupo actualiza su modelo explicativo (versión 2), incorporando ahora: - Entidades: PS, UV, O₂, radicales libres - Propiedades: estabilidad de enlaces C-H, reactividad UV - Transformación: fotooxidación → fragmentación Producto final: diagrama causal revisado + frases explicativas. Finalmente, se pide a dos grupos que presenten los cambios en sus modelos.		
3	Enumere las entidades biológicas involucradas en el proceso de absorción y bioacumulación en las células. Entendiendo que la interacción ocurre a nivel celular. Comprender cómo se produce el transporte de partículas en el cuerpo.	50 a 60 minutos	Video Endocitosis mediada por clatrina (descripción general) y/o Endocitosis mediada por clatrina y/o Visualización mediada por nanopartículas de la remodelación endolisosomal en células infectadas por bacterias Diapositivas con micrografías reales
Descripción: La lección comienza con una revisión del modelo final de degradación de los grupos, enfatizando que los nanoplásticos producidos no desaparecen, sino que entran en la cadena alimentaria. La pregunta que invita a la reflexión es: "¿Cómo llegan los nanoplásticos del medio ambiente a las células humanas?" Elaboración – Hipótesis sobre la entrada celular (15 min) El profesor mostrará micrografías de células con nanoplásticos visibles en el citoplasma (Para esta lección, existe la posibilidad de trabajar con un microscopio en una actividad interdisciplinaria con el profesor de biología). En grupos, los estudiantes reciben una hoja de trabajo de modelado con las siguientes preguntas:			

	¿Pueden los nanoplasticos atravesar la membrana celular? ¿Cómo? "¿Dónde están ubicados dentro de la célula?" Deben producir una explicación/modelo verbal inicial con una hipótesis sobre el mecanismo de entrada. Representación – Modelo celular simplificado (15 min) Cada grupo dibuja un modelo esquemático de la célula mostrando: - Membrana plasmática - Nanoplasticos del medio extracelular - Vía de entrada - Compartimento intracelular final Materiales: papel bond, rotuladores, plantillas de teléfonos celulares impresas. Prueba – Evidencia experimental y simulaciones (10 min) Presenta un lapso de tiempo de células reales absorbiendo nanopartículas fluorescentes. Resalte los procesos: endocitosis → endosomas → lisosomas Establecer una comparación con los modelos propuestos: “¿Nuestros modelos predijeron esto?” Evaluación – Revisión del modelo celular (15 min) Los grupos revisan sus modelos incorporando: <i>Entidades biológicas: membrana plasmática, endosomas, lisosomas</i> <i>-Proceso: endocitosis (no simple difusión)</i> <i>Acumulación intracelular</i> Producto final: Diagrama celular revisado + explicación escrita (4-5 oraciones). Finalmente, el docente realizará un resumen colectivo en la pizarra, enfatizando el proceso: Medio ambiente → Nanoplasticos → Membrana → Endosoma → Lisosoma → [¿efectos?]		
4	Reconociendo que la acumulación intracelular puede generar efectos fisiológicos (estrés, inflamación, disfunción) Establecer relaciones causales integradas Entendiendo la formación de la proteína corona.		Modelo concreto
	Descripción: La clase inicia con una revisión de los modelos construidos en la etapa anterior, con presentaciones de 2 a 3 grupos.(15 minutos). A continuación, el profesor plantea la siguiente pregunta para debate: "Nanoplasticos dentro del lisosoma: ¿y ahora qué? ¿Permanecerán allí para siempre sin causar problemas?" Elaboración – Hipótesis sobre las consecuencias (15 min) El profesor presenta utilizando diapositivas micrografías del transporte de nanopartículas en células y comienza el proceso de formulación de hipótesis a partir de las siguientes preguntas: <i>¿Qué ocurre cuando los lisosomas acumulan nanoplasticos? ¿Qué funciones celulares pueden verse afectadas? ¿Cómo afecta una célula estresada al organismo?</i> Los grupos deben desarrollar la primera versión de la explicación de los efectos. Representación – Cadena de efectos celulares (15 min) Elaboración de un diagrama o diorama que representa los procesos: Nanoplasticos → Lisosoma sobrecargado → [?] → Estrés oxidativo → [?] → Inflamación → [?]		

	El profesor dará a los estudiantes la siguiente instrucción: "Mostrar cómo un problema local (célula) se convierte en un problema sistémico (organismo)". Evidencia científica (15 min) El profesor presentará una secuencia de evidencias que serán proyectadas cuando sea posible y discutidas; este paso puede ocurrir de la siguiente manera: a) Presentar micrografías comparativas: - Lisosomas normales vs. lisosomas con nanopartículas (rotos) - células normales vs. células con nanoplásticos b) Gráficos que muestran evidencia de los efectos: Presentar estudios reales que relacionen la cantidad de nanoplásticos con los niveles de especies reactivas de oxígeno y sus efectos en el organismo. Evaluación (20 a 30 minutos) Luego de una discusión basada en datos científicos, el profesor pide a los estudiantes que revisen el modelo completo, conectando todas las lecciones de la SD, y desarrollen una versión final. Se espera que esta última versión incluya al menos el siguiente proceso: <i>Poliestireno → UV/O₂ → Fotooxidación → Nanoplásticos → Endocitosis → Lisosoma → Ruptura → ROS → Estrés oxidativo → Inflamación → Disfunción celular</i> Producto final: 1. Diagrama individual final (cadena causal completa) 2. Explicación en frases articulando todo el fenómeno. Para sintetizar lo estudiado a lo largo de la secuencia de aprendizaje, el docente puede construir un mapa conceptual en el pizarrón, validando los modelos de los estudiantes y señalando refinamientos para futuras investigaciones.		
5	Evaluar la transferencia de modelos y consolidar el modelo generalizado de bioacumulación.	50 minutos	Modelo de metales pesados (diagrama + texto) Informe metacognitivo (qué transferí, qué adapté) Modelo generalizado de contaminantes ambientales
	Descripción: El profesor utilizará esta lección como una forma de evaluar cómo los estudiantes utilizan los modelos que han construido en una nueva situación; por lo tanto, se propone una introducción al planteamiento de problemas (10 min), en el que se presenta una noticia reciente sobre la presencia de mercurio en el pescado que amenazan a las comunidades o a los consumidores. Para abordar el problema, se puede utilizar un mapa de contaminación, comparando los niveles de Hg en el pescado con los límites de la OMS y los casos de intoxicación humana. Pregunta central: "¿Cómo llegan metales pesados como el mercurio al cerebro humano? ¿Son los mismos mecanismos que los de los nanoplásticos?" Aplicación del modelo (15 min)		

	El profesor presenta un modelo en el que los estudiantes deben llenar los espacios en blanco utilizando el mismo razonamiento que en el problema anterior, utilizando la siguiente analogía: Modelo Nanoplásticos: Ambiente → [entidades] → [proceso celular] → [efectos] Modelo de metales pesados: Garimpo → [?] → [?] → [?] Como parte de la orientación, los estudiantes deberán presentar la estructura ontológica, epistemológica y causal. Revisión de demandas cognitivas (15 min) Lista de verificación de evaluación [] Entidades químicas identificadas (Hg, compuestos orgánicos) [] Transporte ambiental explicado (solubilidad, biomagnificación) [] Entrada celular descrita (difusión pasiva vs. endocitosis) [] Articuló efectos sistémicos (neurotoxicidad) [] Estableció una cadena causal completa Construcción de un modelo generalizado (10 min) Los estudiantes deben luego producir un modelo generalizado que se aplique a fenómenos o procesos similares como: Contaminante X → [degradación/transporte] → [nanopartículas/iones] → [membrana] → [compartimento intracelular] → [efectos locales] → [efectos sistémicos] Al final, el profesor puede revisar el proceso y evaluarlo, por ejemplo: ¿Qué partes del modelo de nanoplásticos fueron útiles para explicar el modelo de metales pesados? ¿Qué aspectos del modelo fue necesario adaptar? ¿Qué limitaciones existen todavía a la hora de explicar los contaminantes?
--	---

Fuente: Elaboración propia.

La SD aquí presentada fue elaborada a partir de las demandas cognitivo-educativas identificadas en el análisis comparativo entre el MEI de los estudiantes y el MCEA, de modo que cada etapa responda directamente a las lagunas conceptuales evidenciadas por los estudiantes. En el ámbito del enfoque CTS, la propuesta se destaca por tratar el fenómeno en su complejidad multiescalar —desde el proceso químico de degradación hasta los impactos biológicos y socio-ambientales—, contextualizando el problema a partir de evidencias científicas reales, como la detección de microplásticos en la sangre humana y la contaminación por mercurio en peces amazónicos.

Al mismo tiempo, promueve un análisis científico de cada etapa del proceso, desde la fotooxidación de los polímeros hasta la endocitosis y el estrés oxidativo en las células, culminando en la retomada del problema inicial mediante la síntesis de los modelos explicativos construidos por los estudiantes y su aplicación en un nuevo FNVE —referente a los metales pesados—, lo que busca identificar el aprendizaje y uso de los modelos construidos en una nueva situación.

Cabe destacar también que los modelos explicativos contruidos colectivamente por el alumnado podrían utilizarse en actividades de concienciación ambiental o divulgación científica, transformando los productos en herramientas de intervención socioambiental. La presentación de los resultados, en la última etapa de la secuencia, podría extenderse a reuniones escolares con la comunidad, donde se debatirán medidas locales para reducir el uso de plásticos, o incluso a ferias científicas, con maquetas/dioramas de los experimentos realizados o carteles de los modelos causales desarrollados.

Esta posibilidad de articulación entre formación conceptual y acción colectiva refuerza el carácter de la propuesta, alineándose con los principios de la educación científica contextualizada y socialmente relevante preconizados por la perspectiva CTS.

En el contexto de esta investigación, se desarrolló y analizó la propuesta de SD en su consistencia teórica y metodológica, dejando para trabajos futuros su implementación práctica en el aula y la evaluación de sus efectos en el aprendizaje estudiantil. Debido a las limitaciones de tiempo para completar la investigación, solo se realizó un estudio a fondo de la base diagnóstica y la modelización didáctica, con el objetivo de contribuir al campo de la Educación Química en relación con la enseñanza basada en fenómenos naturales de valor educativo.

6 CONCLUSIONES

La trayectoria de esta investigación refleja un proceso de maduración teórica y metodológica ante las complejidades de la enseñanza de la Química desde una perspectiva CTS. El estudio se inició con la intención de comprender cómo los estudiantes de Química de grado movilizan las relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad y el proceso de modelado en la planificación de secuencias docentes, evolucionando hacia la postulación de un Modelo Científico Escolar de Arriba sobre la bioacumulación de nanoplasticos de poliestireno (PS-NPs), del cual se derivaron los criterios de diseño para la enseñanza a partir de este fenómeno.

En cuanto al objetivo de caracterizar las concepciones epistemológicas de estudiantes universitarios sobre CTS y modelización, la investigación mostró que, si bien los participantes adoptan un discurso favorable a la articulación entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, tienden a concebir el conocimiento científico de forma predominantemente descriptiva, con poco énfasis en la construcción y el uso de modelos. Esta configuración influyó directamente en la planificación inicial de las secuencias didácticas, que priorizaron la contextualización superficial y la enumeración de información en detrimento de la formulación de explicaciones causales sobre los fenómenos.

En cuanto al objetivo de analizar las secuencias didácticas desarrolladas por los participantes, se observó que las propuestas iniciales integraron débilmente el contenido químico con las dimensiones sociocientíficas. Las secuencias enfatizaban los problemas y los impactos, pero sin articular de forma coherente las entidades, propiedades y relaciones necesarias para explicar los fenómenos o situaciones propuestos, lo que justificó cambiar el enfoque de la investigación hacia la modelización como eje estructurante del diseño docente.

Con el objetivo de sistematizar el modelo científico del fenómeno de bioacumulación de las nanopartículas de PS, el trabajo organizó, con base en la literatura especializada, un conjunto de entidades (nanopartículas de PS, enterocitos, barreras biológicas, sistema linfático, hígado, entre otras), sus propiedades relevantes (tamaño, composición, afinidad lipofílica) y las relaciones causales involucradas en los procesos de absorción, transporte, distribución y posible toxicidad. Esta sistematización constituyó el modelo científico que sirvió de referencia para la construcción de los modelos de llegada curriculares, estudiantiles y científico-escolares.

En relación con el objetivo de inferir el Modelo Curricular (MCu), se identificaron las prescripciones presentes en documentos oficiales y materiales de apoyo, evidenciando tanto el

énfasis en determinados contenidos (estructura de la materia, propiedades, impactos ambientales) como brechas relativas a procesos de bioacumulación y nanotoxicología. La tensión entre el modelo científico y el modelo curricular permitió delimitar el espacio de posibilidades para el tratamiento de los nanoplásticos en la educación básica, así como explicitar silencios y reduccionismos que necesitan ser considerados en la planificación de secuencias didácticas.

En relación con el objetivo de mapear el Modelo Estudiantil Inicial, el levantamiento de los pensamientos espontáneos de los estudiantes sobre nanoplásticos y bioacumulación reveló comprensiones difusas respecto a la escala nanométrica, al paso de sustancias por el cuerpo y a los mecanismos de riesgo asociados. Estos resultados indican la presencia de concepciones poco articuladas, que demandan propuestas didácticas capaces de problematizarlas y de sustentar procesos de reconstrucción conceptual, proporcionando insumos para la definición del horizonte de llegada representado por el MCEA.

Con base en estos componentes, se logró el objetivo de postular el Modelo Científico Escolar de Arribo fue alcanzado al integrar, en un mismo cuadro, los niveles macro (presencia de PS-NPs en productos y ambientes y su ingestión por los sujetos), submicro (interacciones de las partículas con estructuras biológicas, mecanismos de absorción y bioacumulación) y simbólico (representaciones químicas, esquemas de flujo, relaciones funcionales) del fenómeno. El MCEA pasó a funcionar como hipótesis-directriz del conocimiento científico escolar a ser construido por los estudiantes, articulando qué debe enseñarse y cómo organizar la explicación de la bioacumulación de PS-NPs en el cuerpo humano.

La postulación del MCEA sobre el fenómeno de la bioacumulación de PS-NP en el cuerpo humano permitió, en consonancia con el objetivo general de la investigación, la derivación de criterios de diseño para secuencias didácticas basadas en las entidades, propiedades y relaciones causales identificadas. Estos criterios buscan ir más allá de una contextualización meramente ilustrativa y orientar la planificación de unidades didácticas en las que los nanoplásticos se tratan como un fenómeno a explicar y no solo como un ejemplo motivador.

Con base en el MCEA, se destacan, entre otros, los siguientes criterios de diseño: (i) movilizar diferentes representaciones a nivel macro, submicro y simbólico de los nanoplásticos y los procesos de absorción, transporte y bioacumulación; (ii) explicitar los cambios en el nivel de explicación, desde la ingestión de PS-NP hasta su presencia en barreras epiteliales y su distribución sistémica; (iii) localizar los procesos en estructuras corporales específicas (órganos, tejidos, células), articulando la organización biológica y las entidades

químicas; (iv) promover actividades en las que los estudiantes establezcan relaciones causales entre las propiedades de las partículas (tamaño, solubilidad, afinidad lipofílica) y los efectos toxicológicos; y (v) evitar el uso meramente ilustrativo del contexto CTS, exigiendo que el fenómeno se explique eficazmente a la luz del modelo propuesto. Estos resultados constituyen una respuesta a los objetivos formulados e indican caminos para una formación docente de química que enfatiza la construcción de modelos explicativos y la problematización sociocientífica, en lugar de la simple memorización de contenidos.

A partir de los resultados obtenidos, se hace necesario avanzar en la formulación de recomendaciones que trasciendan el ámbito de esta investigación y dialoguen con la organización de la enseñanza de las ciencias en distintos niveles educativos. En el caso de la educación secundaria, los hallazgos evidencian la necesidad de una reestructuración curricular que tome como eje fenómenos naturales de valor educativo, abordados a partir de modelos científicos escolares que articulen entidades, propiedades y relaciones causales. Esta orientación permitiría superar enfoques fragmentados y promover una enseñanza centrada en la explicación de fenómenos, favoreciendo la construcción de conocimientos más integrados, significativos y aplicables a contextos reales.

En el ámbito de la formación inicial de profesores, los resultados indican la urgencia de promover procesos formativos que incorporen explícitamente el diseño didáctico basado en fenómenos y en la modelización. Esto implica no solo el dominio del contenido disciplinar, sino también la capacidad de organizarlo en términos de modelos explicativos que orienten la enseñanza. En este sentido, se hace necesario replantear los currículos de formación docente para que contemplen, de manera sistemática, la construcción, análisis y utilización de modelos científicos escolares como herramientas para la planificación de la enseñanza.

Asimismo, esta investigación refuerza la importancia de explicitar la naturaleza del conocimiento científico en el proceso de enseñanza. Comprender la ciencia como una construcción basada en modelos, sujeta a revisión y articulada a contextos sociales, resulta fundamental para que los estudiantes no solo aprendan conceptos, sino que desarrollen la capacidad de interpretar, cuestionar y tomar decisiones fundamentadas. En este marco, el aprendizaje de las ciencias adquiere sentido cuando permite a los sujetos comprender fenómenos relevantes de su realidad y posicionarse críticamente frente a ellos, especialmente en contextos marcados por problemáticas sociocientíficas contemporáneas.

En un escenario global en el que circulan desinformación y discursos negacionistas, la educación científica asume un papel aún más relevante. Más que transmitir contenidos, se trata de formar sujetos capaces de comprender, argumentar y actuar a partir del conocimiento

científico. En este sentido, la presente investigación se alinea con la idea de que la mejor herramienta contra el negacionismo es el conocimiento, siempre que este sea construido de manera significativa, contextualizada y orientada a la comprensión.

Así, el desarrollo de modelos científicos escolares, como el propuesto en este trabajo, no solo contribuye a la mejora de la enseñanza de la Química, sino que también se posiciona como una estrategia formativa para la construcción de una ciudadanía crítica, informada y capaz de tomar decisiones responsables en una sociedad cada vez más compleja.

En última instancia, enseñar ciencias no es solo explicar fenómenos, sino formar sujetos capaces de comprender el mundo y actuar en él con responsabilidad.

Perspectivas y desarrollos de la investigación

Esta investigación abre un abanico de posibilidades para futuras investigaciones que permitan profundizar y ampliar los resultados obtenidos. Una primera línea consiste en validar la secuencia didáctica propuesta para el fenómeno de la bioacumulación de nanoplasticos de poliestireno en el cuerpo humano, con el fin de verificar su adecuación teórica y metodológica, así como su viabilidad en contextos docentes reales. A continuación, se propone la implementación de esta secuencia validada en educación secundaria, con el objetivo de analizar el Modelo Científico Escolar Logrado por el alumnado, buscando comprender en qué medida los criterios de diseño derivados del MCEA se aplican en su aprendizaje.

Otra área de enfoque relevante se centra en el desarrollo de Modelos Científicos Escolares Arribo para Educación Primaria y Superior, relacionados con el mismo fenómeno. Esta expansión permitiría considerar diferentes etapas educativas y analizar la evolución de los modelos generados, tanto en términos de complejidad explicativa como de articulación entre los niveles macro, submicro y simbólico. Paralelamente, se prevé la mejora del modelo científico sobre el fenómeno estudiado, así como su expansión a áreas relacionadas, como la toxicidad de diferentes nanopartículas, la bioacumulación en otras partes del organismo humano y sus efectos, y la exploración de otras vías de absorción además de la ingestión, relacionadas, por ejemplo, con el uso de cosméticos y tratamientos basados en nanotecnologías.

En términos de divulgación científica y académica, es necesario producir artículos derivados de la tesis que sistematizan: (i) la construcción del modelo científico del fenómeno

MCI; (ii) la descripción y el análisis del producto educativo, especialmente tras su validación; (iii) los resultados de la implementación de la secuencia en el aula; (iv) una revisión bibliográfica sobre el uso del MCEA en Brasil y otros contextos; y (v) la propuesta del MCEA para la FNVE, analizando su posible aplicación a otros fenómenos de naturaleza similar.

Finalmente, se delinean investigaciones centradas específicamente en la formación de profesores. Entre ellas, se destaca la proposición de intervenciones formativas que promuevan el uso y la elaboración de MCEA por estudiantes de pregrados en Química, así como el estudio de secuencias didácticas elaboradas a partir de un mismo MCEA, analizando convergencias y divergencias en las elecciones didácticas realizadas. Estos caminos apuntan a la construcción de una agenda de investigación que integra el desarrollo de modelos científicos escolares, el diseño de secuencias didácticas y la formación docente, en diálogo con los desafíos contemporáneos planteados por los fenómenos sociocientíficos emergentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, J. A. Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias através de CTS. In: GORDILLO, M. M. et al. **Educación, Ciencia, Tecnología y Sociedad**. 1. ed. Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI, 2009. cap. 3, p. 35-40.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias. 2009.

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Una introducción a la naturaleza de la ciencia**. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2005.

ADÚRIZ-BRAVO, A. La epistemología en la formación del profesorado de ciencias. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 346-360, 2015.

AHMAD, N. J.; LAH, Y. C. A Designed Teaching Sequence as a Tool to Improve Students' Conceptual Understanding of the Conductivity in the Electrolytic Cell. **Asian Social Science**, Canadian Center of Science and Education, v. 9, n. 2, p. 298-304, 2013.

AIKENHEAD, G. Educación ciencia-tecnología-sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. **Educación Química**, v. 16, n. 2, p. 114-124, 2005.

AIKENHEAD, G. S.; RYAN, A. G. The Development of a New Instrument: 'Views on Science—Technology—Society' (VOSTS). **Science Education**, v. 76, p. 477-491, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.3730760503>.

AKCAY, H.; YAGER, R. E. Students Learning to Use the Skills Used by Practicing Scientists. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, Istambul, v. 12, n. 3, p. 513-525, jul. 2016.

AKKUS, H. et al. Effectiveness of Instruction Based on the Constructivist Approach on Understanding Chemical Equilibrium Concepts. **Research of Science Technology Education**, Ankara, v. 21, n. 2, p. 209-227, jun. 2003.

ALIBERAS, J.; GUTIÉRREZ, R.; IZQUIERDO, M. Identifying Changes in a Student's Mental Models and Stimulating Intrinsic Motivation for Learning During a Dialogue Regulated by the Teachback Technique: a Case Study. **Research in Science Education**, v. 51, n. 3, p. 617-645, 2021.

ALMEIDA, E. S.; STRIEDER, R. B. Abordagem CTS e a perspectiva freireana: articulações possíveis para o ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, p. 1-25, 2021.

ALMEIDA, E. S.; STRIEDER, R. B. Abordagem CTS e perspectiva freireana. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, p. 1-25, 2021.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. A Teaching–Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 827-851, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9231-5>.

ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 122-134, jul./dez. 2001.

AULER, D.; FENALTI, V. S.; DALMOLIN, A. M. T. Abordagem temática: temas em Freire e no enfoque CTS. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. p. 721-732.

AUSUBEL, D. P. **A aquisição e retenção do conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. 1. ed. Lisboa: Paralelo, 2000.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARBOZA, L. G. A.; GIMÉNEZ, B. C. G. Microplastics in the marine environment: current trends and future perspectives. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 189–195, 2019.

BERTOTTI, M. Dificuldades conceituais no aprendizado de equilíbrios químicos envolvendo reações ácido-base. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 10, p. 1836-1839, 2011.

BEZERRA, V. A. Estruturas conceituais e estratégias de investigação: modelos representacionais e instanciais, analogias e correspondência. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 585-609, 2011.

BOUZON, J. D. et al. O ensino de química no ensino CTS brasileiro: uma revisão bibliográfica de publicações em periódicos. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 3, p. 1-12, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BYBEE, R.; TAYLOR, J. et al. **The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness**. Colorado Springs, CO: BSCS, 2006.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. A **necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CAMPBELL, T.; OH, P. S.; MAUGHN, M.; KIRIAZIS, N.; ZUWALLACK, R. A review of modeling pedagogies: pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 11, n. 1, p. 159–176, 2015.

CHENG, M. M. W. Students' visualisation of chemical reactions - insights into the particle model and the atomic model. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 19, n. 1, p. 227-239, 2018.

CHIU, M.-H.; CHOU, C.-C.; LIU, C.-J. Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 8, p. 688-712, 2002.

CINTRA, E. P.; MARQUES JUNIOR, A. C.; SOUSA, E. C. D. Correlação entre a matriz de referência e os itens envolvendo conceitos de Química presente no ENEM de 2009 a 2013. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 22, n. 3, p. 707-725, 2016.

CORTÉS-MORALES, A.; MARZABAL, A. The Design of Science Teaching and Learning Tasks with Modelling Potential. **Studies in Science Education**, 2025. DOI: 10.1080/03057267.2025.2493990.

DAGNINO, R.; SILVA, R. B.; PADOVANNI, N. Por que a educação em ciência, tecnologia e sociedade vem andando devagar. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. cap. 4, p. 99-134.

DAMASCENA, V. O. Um estudo sobre negacionismo científico e suas possíveis influências nas práticas dos professores de Ciências. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2023.

DUIT, R.; TREAGUST, D. F. Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 671-688, 2003.

DUIT, R. Science education research – an indispensable component of self-correcting scientific progress. In: AMOS, R. (Ed.). **Science education research and practice from a Nordic perspective**. Gothenburg, 2007. p. 1-21.

DUIT, R.; GROPPENGIEßER, H.; KATTMANN, U.; KOMOREK, M.; PARCHMANN, I. The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. In: JORDE, D.; DIETZ, J. (Eds.). **Science education research and practice in Europe**. Rotterdam: Sense Publishers, 2012. p. 13-37.

DURÃO JÚNIOR, W. A.; WINDMÖLLER, C. C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 15-19, 2008.

EGEVARDT, C.; LORENZETTI, L.; HUSSEIN, F. R. G.; LAMBACH, M. Desafios da educação CTS na formação de professores de Química. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 9, n. 2, p. e21038, 2021.

EILKS, I.; GULACAR, O. A colorful demonstration to visualize and inquire into essential elements of chemical equilibrium. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 11, p. 1904-1907, 2016.

FERNANDES, F. R.; MACHADO, P. F. L. Educação CTS na formação inicial de professores de química. **Revista Cocar**, v. 20, n. 38, 2024.

FERREIRA, R. M.; SILVA, E. G. O.; STAPELFELDT, D. A. M. Contextualizando a química com a educação sexual aplicada de forma transdisciplinar. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, 2016.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

GABEL, D. L. **Handbook of research on science teaching and learning**. 2. ed. New York: Macmillan, 2000.

FERREIRA, P. F. M.; SILVA, R. S.; STAPELFELDT, R. Modelagem e o “fazer ciência”. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 342-348, 2016.

GHIRARDI, M. et al. A teaching sequence for chemical equilibrium. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 1, p. 59-65, 2014.

GATTI, B. A. **Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas**. Brasília: Liber Livro, 2005.

GATTI, B. A.; BARRETO, E. S. S.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Políticas docentes no Brasil: um estado da arte**. Brasília: UNESCO, 2011.

GROPENGIESSER, H.; KATTMANN, U.; KOMOREK, M. The model of educational reconstruction. In: **Science education research and practice in Europe**. Rotterdam: Sense Publishers, 2012.

GROPPO, L. A.; MARTINS, M. F. **Introdução à pesquisa em educação**. São Paulo: Biscachin, 2006.

GUISASOLA, J.; AMETLLER, J.; ZUZA, K. Investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 18, n. 1, p. 1801, 2021.

GUISASOLA, J.; OLIVA, J. M. Nueva sección especial sobre investigación basada en el diseño. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 3001, 2020.

GÜNTHER, H. Como elaborar um questionário. Brasília: Universidade de Brasília, 2003.

HACKING, M. W.; GARNETT, P. J. Misconceptions of chemical equilibrium. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 2, p. 205-214, 1985.

HERNÁNDEZ, M.; COUSO, D.; PINTÓ, R. Analyzing students' learning progressions. **Journal of Science Education and Technology**, v. 24, p. 356-377, 2015.

HERNÁNDEZ, M. I.; COUSO, D.; PINTÓ, R. Analyzing students' learning progressions. **Journal of Science Education and Technology**, v. 24, n. 2, p. 356-377, 2015.

HILL, M. M.; HILL, A. **Investigação por questionário**. 2. ed. Lisboa: Sílabo, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Exame Nacional do Ensino Médio: relatório pedagógico**. 1. ed. Brasília: INEP, 2015.

JUNIOR, J. G. T.; SILVA, R. M. G. A abordagem do tema equilíbrio químico nos planos de aula de futuros professores de química. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 35, n. 3, p. 2989-2994, 2017.

- JUNIOR, W. A. D.; WINDMÖLLER, C. C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. **Química Nova na Escola**, v. 28, n. 2, p. 15-19, 2008.
- KARPUDEWAN, M. et al. Investigating high school students' understanding of chemical equilibrium concepts. **International Journal of Educational Research**, v. 10, n. 6, p. 845-863, 2015.
- LIJNSE, P. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 537-554, 2004.
- LIMA, J. F. L. et al. A contextualização no ensino de cinética química. **Química Nova na Escola**, v. 11, n. 2, p. 26-29, 2000.
- LIMA, M. E. C. C.; SILVA, P. S. Critérios que professores de química apontam como orientadores da escolha do livro didático. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 121-136, 2010.
- LIMA, J. Z. Efeitos dos microplásticos e nanoplásticos no meio ambiente. 2022. Monografia – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- LÓPEZ-SIMÓ, V.; COUSO, D. Un currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 19, n. 3, p. 3501, 2022.
- MARCONDES, M. E. R. et al. Materiais didáticos no enfoque CTSA. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 1, p. 1-21, 2020.
- MORENO-RODRÍGUEZ, A. S.; DEL PINO, J. C. Propostas didáticas com enfoque CTS. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 22, n. 1, p. 146-170, 2023.
- MARTINS, I. P. Educação CTS/CTSA ainda é tema para discussão? **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad – CTS**, v. 17, n. 50, p. 123-129, 2022.
- MÉHEUT, M. Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 605-618, 2004.
- MÉHEUT, M. Teaching-learning sequence tools for learning and/or research. In: BOERSMA, K. et al. **Research and the quality of science education**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 195-207.
- MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.
- MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 6, n. 5, p. 515-535, 2007.
- MICHAILIDI, E.; STAVROU, D. Supporting the implementation of a nanotechnology teaching-learning sequence. **International Journal of Science Education**, v. 44, n. 2, p. 297-323, 2022.

MILILLO, C. et al. Polystyrene nanoplastics mediate oxidative stress, senescence, and apoptosis. **Frontiers in Public Health**, v. 12, 2024.

MINAYO, M. C. S. et al. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

MINAYO, M. C. S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 28. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

MORALES-GARCÉS, S. et al. Conceptualizations of scientific models among teachers. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 3117, 2025.

MORAIS, R. P.; BEGO, A. M.; GIORDAN, M. Investigação dos impactos do processo de elaboração, aplicação e reelaboração de sequências didáticas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e25813, 2021.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, P.; MARZABAL, A.; TALANQUER, V. Using a mechanistic framework to characterise students' reasoning. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 20, n. 1, p. 120–131, 2018.

MORELATTI, M. R. M. et al. Sequências didáticas descritas por professores. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 3, p. 639-652, 2014.

MUÑOZ-CAMPOS, V.; FRANCO-MARISCAL, A. J.; BLANCO-LÓPEZ, A. Integration of scientific practices into daily living contexts. **International Journal of Science Education**, 2020.

MÜNCHEN, S.; BOHRER ADAIME, M. Abordagem CTS na formação inicial de professores de química. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 7, n. 1, p. 134-150, 2021.

NIAZ, M. Response to contradiction: conflict resolution strategies used by students in solving problems of chemical equilibrium. **Journal of Science Education and Technology**, v. 10, n. 2, p. 205-211, 2001.

OCCELI, M.; VALEIRAS, N. Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 31, n. 2, p. 133-152, 2013.

PAIS, L. C. **Didática da matemática: uma análise da influência francesa**. Belo Horizonte: Autêntica, 2007.

PAPADOURIS, N.; CONSTANTINO, C. P. Investigating middle school students' ability to develop energy as a framework. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 1, p. 119-145, 2016.

PAPADOURIS, N.; CONSTANTINOU, C. P. Investigating middle school students' ability to develop energy as a framework. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 1, p. 119-145, 2016.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

QUADROS, A. L. et al. Ensinar e aprender química: a percepção dos professores. **Educar em Revista**, n. 40, p. 159-176, 2011.

QUÍLEZ, J. A historical approach to the development of chemical equilibrium. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 5, n. 1, p. 69-87, 2004.

QUÍLEZ, J. From chemical forces to chemical rates. **Science & Education**, v. 18, n. 9, p. 1203-1251, 2009.

REIS, R.; MORTIMER, E. F. Um estudo sobre licenciaturas em ciências da natureza no Brasil. **Educação em Revista**, v. 36, 2020.

RICARDO, E. C. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2007.

RODRIGUES, C. **Leitura e interpretação: desenvolvendo autonomia no aprendizado de química**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ROS, G. et al. The design of a teaching-learning sequence on simple machines. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 18, n. 1, 2022.

SADALLA, A. M.; LAROCCA, P. Autoscopia: um procedimento de pesquisa e formação. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 3, p. 419-433, 2004.

SAMPAIO, F. C. **Da harmonia do sorriso ao equilíbrio químico**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SANTOS, D. F.; PRUDÊNCIO, C. A. V. O uso de sequências didáticas no ensino sobre microrganismos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, p. 577-600, 2020.

SANTOS, R. A.; MARMITT, D. B. N.; AULER, D. Compreensão ampliada sobre a não neutralidade da ciência e tecnologia. In: TAUCHEN, G.; SILVA, J. A.; SCHWANTES, L. **Educação científica: pesquisas e experiências**. Curitiba: CRV, 2015. p. 229-239.

SANTOS, W. L. P. Contextualização do ensino de ciências por meio de temas CTS. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 2, p. 1-12, 2007.

SANTOS, W. L. P. Educação científica humanística em uma perspectiva freireana. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 109-131, 2008.

SANTOS, W. L. P. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, 2002.

SANTOS, W. L. P.; AULER, D. **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. Ijuí: Unijuí, 2000.

SASSERON, L. H.; OROFINO, R. P. Alfabetização científica na perspectiva das ciências da natureza. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v. 15, n. 25, 2022.

SILVA, E. L.; MARCONDES, M. E. R. Materiais didáticos elaborados por professores na perspectiva CTS. **Ciência & Educação**, v. 21, n. 1, p. 65-83, 2015.

SILVA, S. M. D.; EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. Percepções de professores de química geral. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 585-594, 2003.

SILVA, A. J. P.; ARROIO, A. The role of time in visualization in chemical education. **Journal of Turkish Science Education**, v. 19, n. 3, p. 786-807, 2022.

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I.; TALANQUER, V. Didaktik models in chemistry education. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 4, p. 910-915, 2020.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Princípios de análise instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SOLBES, J. et al. Influencia de la formación del profesorado de ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 36, n. 1, p. 25-44, 2018.

SOUZA, K. A. F.; CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**, v. 27, n. 4, p. 51-56, 2008.

SOUZA, L. O. et al. Observando a dinâmica do contrato didático. **Educação Química em Punto de Vista**, v. 1, n. 1, p. 59-78, 2017.

STRIEDER, R. B. et al. A educação CTS possui respaldo em documentos oficiais? **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 87-107, 2016.

SUART, R. C. Formação inicial de professores de química. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SZYMANSKI, H. **A entrevista na pesquisa em educação: a prática reflexiva**. Brasília: Liber Livro, 2004.

TERMINI, G.; BATTAGLIA, O. R.; FAZIO, C. Impact of a teaching-learning sequence on surface phenomena in liquids. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 21, n. 8, e2687, 2025.

TOLEDO, S. M.; BLANCH, M. E.; RUBILAR, C. M. El contexto en la enseñanza de la química. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 16, n. 1, 2019.

TYSON, L.; TREAGUST, D. F.; BUCAT, R. B. The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 4, p. 554-560, 1999.

VALLEJO, P. M.; SANZ, B. U.; BLANCO, A. B. **Construcción de escalas de actitudes tipo Likert**. Madrid: La Muralla, 2003.

VÁZQUEZ-ALONSO, Á. et al. A teaching-learning sequence on a socio-scientific issue. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 11, p. 1727-1746, 2016.

VILCHES, A.; GIL-PÉREZ, D.; PRAIA, J. De CTS a CTSA: educação por um futuro sustentável. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. p. 161-211.

WHEELER, A. E.; KASS, H. Student misconceptions in chemical equilibrium. **Science Education**, v. 62, n. 2, p. 223-232, 1978.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

RICARDO, J. C.; CHRISPINO, A. O mapeamento da área CTS a partir das dissertações dos mestrados profissionais. **Revista Ciências & Ideias**, v. 12, p. 173-193, 2021.

GUTIÉRREZ, R. Sistemas de creencias, modelos mentales y cambio conceptual. **Indivisa: Boletín de Estudios e Investigación**, n. 8, p. 573-585, 2007.

GUTIÉRREZ, R.; OGBORN, J. Models of explanation in physics: the role of causal reasoning. **International Journal of Science Education**, 1997.

GUTIÉRREZ, R.; ALIBERAS, J.; IZQUIERDO, M. Identifying changes in students' mental models. **Research in Science Education**, 2021.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

JUSTI, R. Modeling-based teaching in science education. 2015.

GIERE, R. N. **Explaining science: a cognitive approach**. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

GIERE, R. N. How models are used to represent reality. **Philosophy of Science**, v. 71, p. 742-752, 2004.

KNUUTTILA, T. Modelling and representing: an artefactual approach. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 42, p. 262-271, 2011.

LÓPEZ-MOTA, Á. D.; RODRÍGUEZ-PINEDA, D. P. Anclaje de los modelos y la modelización científica. In: **Memorias del IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias**. 2013.

LÓPEZ-MOTA, Á. D.; MORENO ARCURI, G. Sustentación teórica y descripción metodológica. **Enseñanza de las Ciencias**, 2014.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, e1700782, 2017.

SHARMA, S.; CHATTERJEE, S. Microplastic pollution: a threat to marine ecosystem and human health. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 21530-21547, 2017.

BARBOZA, L. G. A.; GIMÉNEZ, B. C. G. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 189-195, 2019.

YONG, C. Q. Y. et al. Toxicity of microplastics and nanoplastics. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 5, 2020.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. A **necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based teaching in science education**. Cham: Springer, 2016.

DUIT, R.; TREAGUST, D. F. Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 671-688, 2003.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry – logical or psychological? **Chemistry Education Research and Practice**, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

DANIEL LÓPEZ Y MOTA, Á. Secuencias didácticas y el contenido de enseñanza. In: **Modelos científicos escolares: el caso de la obesidad humana**. Ciudad de México: Horizontes Educativos, 2019.

PORTO, M. L. O.; TEIXEIRA, P. M. M. A articulação da tríade CTS. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2016.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, 2002.

SOLÉ, C.; TENA, È.; COUSO, D.; HERNÁNDEZ, M. I. ¿Cómo es el aire contaminado? In: **Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales**, 29., 2021. Córdoba: [s.n.], 2021. p. 253-262.

LIN, J. W.; WU, H. K. Effects of representational scaffolds on electrochemistry learning. **Journal of Science Education and Technology**, v. 30, n. 3, p. 307-323, 2021.

APÊNDICE 1

Tabla 1. Questionário de levantamento das concepções dos estudantes sobre SD e CTS.

Questionário
1) Descreva os aspectos essenciais que devem estar presentes em sequências didáticas. 2) Como você descreveria a relação entre ensino e aprendizagem? 3) Quais aspectos diferenciam uma SD para uma SD investigativa? 4) O que caracteriza o ensino investigativo? 5) Como você descreveria a educação CTS?

Fonte. Elaboração própria.

APÊNDICE 2

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

FORMA 1	Brasil: CNPq - Edital MCT/CNPq 15/2007, Processo: 475607/2007-4 Espanha: <i>Ministerio de Educacion y Ciencia (Proyecto de investigacion SEJ2007-67090/EDUC financiado pela Convocatoria de ayudas a proyectos de I+D 2007).</i>
----------------	---

Este questionário anônimo pretende conhecer as suas opiniões sobre algumas questões importantes sobre a ciência e a tecnologia no mundo atual. Todas as questões têm a mesma estrutura: um texto inicial que coloca um problema ao qual se segue uma lista de frases que representam diferentes alternativas de possíveis respostas a esse problema e que estão ordenadas e identificadas sucessivamente com uma letra (A, B, C, D, etc.).

Pede-se que atribua um valor relativo ao seu grau de concordância pessoal com cada uma dessas frases escrevendo no quadrado à esquerda da frase o número que representa a sua opinião, expresso numa escala de 1 a 9 com os seguintes significados:

DESACORDO				Indeciso	ACORDO				OUTROS	
Total	Alto	Médio	Baixo		Baixo	Médio	Alto	Total	Não a entendo	Não sei
1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	S

Nos casos em que não possa manifestar a sua opinião relativamente a alguma frase, escreva uma razão:

E. Não entendo a frase ou S. Não sei o suficiente para a avaliar.

Exemplo de pergunta com respostas

(Os números situados na coluna da esquerda representam as respostas que deve escrever; os valores neste exemplo são fictícios e não devem ser tomados como referência para mais nada)

10412 *A ciência influencia a tecnologia?*

- 1 A. A ciência não tem muita influência na tecnologia.
6 B. Tecnologia é ciência aplicada.
8 C. O avance na ciência conduz a novas tecnologias.
9 D. A ciência torna-se mais valiosa quando se usa na tecnologia.
7 E. A ciência é o conhecimento base para a tecnologia.
8 F. Os conhecimentos da investigação científica aplicada usam-se mais na tecnologia que os conhecimentos da investigação científica pura.
2 G. A tecnologia é a aplicação da ciência para melhorar a vida.

DADOS SOCIODEMOGRÁFICOS (escreva ou marque uma cruz nos quadrados seguintes).

Em que país vive? Argentina₁ ☐ Brasil₂ ☐ Colombia₃ ☐ Espanha₄ ☐ México₅ ☐ Portugal₆ ☐ Uruguai₇ ☐ Outros₈ ☐

Qual a sua idade em anos? _____ (escreva a sua idade)

É homem ou mulher? Homem₁ ☐ Mulher₂ ☐

É estudante? Sim, pre-universitário/a₁ ☐ Sim, início a universidade₂ ☐ Sim, final da universidade₃ ☐ Não₄ ☐

É professor/a...? em formação₁ ☐ em exercício₂ ☐ Não sou professor/a₃ ☐

Se é professor/a, em formação ou em exercício, em que nível? Fundamental₁ ☐ Ensino Médio/Técnico₂ ☐

Ensino superior (politécnico/universidade)₃ ☐ outro₄ (escreva) _____

Qual é o seu grau académico mais elevado? Doutor₁ ☐ Mestre₂ ☐ Licenciado₃ ☐

Graduação/Bacharel₄ ☐ Outra₅ (escreva) _____

Como definiria a especialidade principal da...

música, teatro, pintura, escultura, desenho, etc.

literatura, línguas, história, arte, filosofia, lógica, etc.

direito, economia, política, sociologia, geografia, psicologia, educação, etc.

engenharias, arquitectura, matemáticas, informática, etc.

física, química, biologia, geologia, ambientais, do mar, medicina, etc.

Uma mistura das anteriores (incluindo ciências)

Nenhuma das anteriores, outras

...sua formação?	...sua ocupação?
1 ☐	1 ☐
2 ☐	2 ☐
3 ☐	3 ☐
4 ☐	4 ☐
5 ☐	5 ☐
6 ☐	6 ☐
7 ☐	7 ☐

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

**Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas.
Atribua um valor a cada frase, com sinceridade, e escreva-o no quadrado correspondente**

10111 Definir o que é a ciência é difícil porque ela é complexa e engloba muitas coisas. Mas a ciência é, PRINCIPALMENTE:

- ☐ A. o estudo de áreas tais como biologia, química, geologia e física.
- ☐ B. um corpo de conhecimentos, como princípios, leis e teorias que explicam o mundo que nos rodeia (matéria, energia e vida).
- ☐ C. explorar o desconhecido e descobrir coisas novas sobre o mundo e o universo, e como funcionam.
- ☐ D. realizar experiências para resolver problemas de interesse sobre o mundo que nos rodeia.
- ☐ E. inventar ou conceber coisas (por exemplo corações artificiais, computadores, veículos espaciais).
- ☐ F. pesquisar e usar conhecimentos para fazer deste mundo um lugar melhor para viver (por exemplo curar doenças, solucionar a contaminação e melhorar a agricultura).
- ☐ G. uma organização de pessoas (chamados cientistas) que têm ideias e técnicas para descobrir novos conhecimentos.
- ☐ H. um processo de investigação sistemático e o conhecimento que daí resulta.
- ☐ I. não se pode definir ciência.

10211 Definir o que é a tecnologia pode ser difícil porque esta serve para muitas coisas. Mas a tecnologia, PRINCIPALMENTE, é:

- ☐ A. muito parecida com a ciência.
- ☐ B. a aplicação da ciência.
- ☐ C. novos processos, instrumentos, maquinaria, ferramentas, aplicações, artefatos, computadores ou aparelhos práticos para uso diário.
- ☐ D. robos, eletrônica, computadores, sistemas de comunicação, automatismos, máquinas.
- ☐ E. uma técnica para construir coisas ou uma forma de resolver problemas práticos.
- ☐ F. inventar, desenhar e ensaiar coisas (por exemplo, corações artificiais, computadores e veículos espaciais).
- ☐ G. ideias e técnicas para conceber e fazer coisas; para organizar os trabalhadores, as pessoas de negócios e os consumidores; e para o progresso da sociedade.
- ☐ H. saber como fazer coisas (por exemplo, instrumentos, maquinaria, aparelhos).

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

10411 *A ciência e a tecnologia estão estreitamente relacionadas entre si:*

- ☐ A. porque a ciência é a base dos avances tecnológicos, mas é difícil ver como é que a tecnologia poderia ajudar a ciência.
- ☐ B. porque a investigação científica conduz a aplicações práticas tecnológicas, e as aplicações tecnológicas aumentam a capacidade para fazer investigação científica.
- ☐ C. porque apesar de serem diferentes, atualmente estão tão estreitamente unidas que é difícil separá-las.
- ☐ D. porque a tecnologia é a base de todos os avances científicos, ainda que seja difícil ver como é que a ciência pode ajudar a tecnologia.
- ☐ E. Ciência e tecnologia são mais ou menos a mesma coisa.

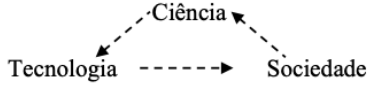
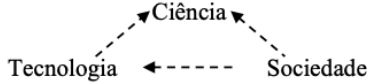
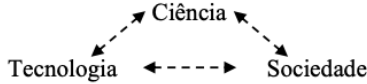
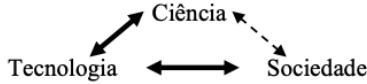
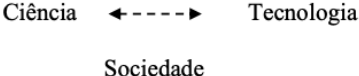
10421 *Para melhorar a qualidade de vida do país, seria melhor gastar dinheiro em investigação tecnológica EM VEZ DE em investigação científica.*

- ☐ A. Investir em investigação tecnológica porque melhorará a produção, o crescimento económico e o emprego. Tudo isto é muito mais importante que qualquer coisa que ofereça a investigação científica.
- Investir em ambas:
- ☐ B. porque não há realmente diferenças entre ciência e tecnologia.
- ☐ C. porque o conhecimento científico é necessário para fazer avanços tecnológicos.
- ☐ D. porque ambas inter-actuam e se complementam entre si, por igual. A ciência dá à tecnologia tanto como a ciência dá à tecnologia.
- ☐ E. porque cada uma à sua maneira oferece vantagens à sociedade. Por exemplo, a ciência proporciona avanços médicos e no meio ambiente, enquanto que a tecnologia dá maior eficiência e comodidade.
- ☐ F. Investir em investigação científica, isto é, investigação médica ou sobre o meio ambiente, porque estas são mais importantes que fazer melhores aplicações, computadores ou outros produtos da investigação tecnológica.
- ☐ G. Investir em investigação científica porque melhora a qualidade de vida (por exemplo, curas médicas, respostas a problemas de contaminação e aumento do conhecimento). A investigação tecnológica, por outro lado, piorou a qualidade de vida (por exemplo bombas atómicas, contaminação e automatização).
- ☐ H. Não investir em nenhuma. A qualidade de vida não melhorará com os avanços na ciência e na tecnologia, mas apenas com investimentos noutros sectores da sociedade (por exemplo, bem estar social, educação, criação de emprego, artes, cultura e ajudas de outros países).

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

30111 Qual dos seguintes diagramas representaria melhor as interações mútuas entre a ciência, a tecnologia e a sociedade? (As setas simples indicam uma única direção para a relação e as duplas indicam interações mútuas. As setas mais grossas indicam uma relação mais intensa que as finas e estas mais que as tracejadas; a ausência de seta indica inexistência de relação).

- ☐ A) Ciência → Tecnologia → Sociedade
- ☐ B) Tecnologia → Ciência → Sociedade
- ☐ C) 
- ☐ D) 
- ☐ E) 
- ☐ F) 
- ☐ G) 

40221 A ciência e a tecnologia podem ajudar as pessoas a tomar algumas decisões morais (isto é, decidir como deve atuar uma pessoa ou um grupo em relação a outras pessoas).

A ciência e a tecnologia podem ajudar a tomar algumas decisões morais:

- ☐ A. Fazendo com que a nossa informação sobre as pessoas e o mundo que nos rodeia seja melhor. Esta informação básica pode ajudar a confrontar-nos com os aspectos morais na vida.
- ☐ B. Dando informação básica; mas as decisões morais devem ser tomadas pelas pessoas.
- ☐ C. porque a ciência inclui áreas como a psicologia, que estuda a mente e os sentimentos humanos.

A ciência e a tecnologia NÃO podem ajudar a tomar decisões morais:

- ☐ D. porque ciência e tecnologia não têm nada que ver com decisões morais; só descobrem, explicam e inventam coisas. O que as pessoas fazem com os seus resultados não é assunto dos cientistas.
- ☐ E. porque as decisões morais tomam-se somente com base em valores e crenças de cada pessoa.
- ☐ F. porque se as decisões morais se baseassem em informação científica, com frequência as decisões conduziram ao racismo, supondo que um grupo de pessoas é melhor que outro grupo.

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

40421 *Na vida diária, o conhecimento de ciência e de tecnologia ajuda você a pessoalmente resolver problemas práticos (por exemplo, conseguir retirar o carro de uma zona de gelo, cozinhar ou cuidar de um animal).*

O pensamento sistemático aprendido nas aulas de ciências (por exemplo, colocar hipóteses, recolher dados, ser lógico):

- ☐ A. ajuda-me a resolver problemas na minha vida diária. Os problemas diários resolvem-se de maneira mais fácil e lógica se se tratam como problemas de ciências.
 - ☐ B. dá-me uma maior compreensão e conhecimento dos problemas diários. Contudo, as técnicas que aprendi para resolver um problema não me são úteis diretamente na minha vida diária.
 - ☐ C. As idéias e fatos que aprendi nas aulas de ciências por vezes ajudam-me a resolver problemas ou a tomar decisões sobre coisas como cozinhar, não adoecer ou explicar uma ampla variedade de fenômenos físicos (por exemplo, o trovão ou as estrelas).
 - ☐ D. O pensamento sistemático e as idéias e fatos que aprendi nas aulas de ciências ajudam-me muito. Servem-me para resolver alguns problemas e entender uma ampla variedade de fenômenos físicos (por exemplo, o trovão ou as estrelas).
 - ☐ E. O que aprendi nas aulas de ciências geralmente não me ajuda a resolver problemas práticos; mas serve-me para perceber, relacionar-me e compreender o mundo que me rodeia.
- O que aprendi nas aulas de ciências **NÃO** se relaciona com a minha vida diária:
- ☐ F. biologia, química, geologia e física não se apresentam práticas para mim. Tratam detalhes teóricos e técnicos que têm pouco a ver com o meu mundo de cada dia.
 - ☐ G. os meus problemas cotidianos são resolvidos pela minha experiência passada ou por conhecimentos que não estão relacionados com a ciência e a tecnologia.

40531 *Mais tecnologia melhorará o nível de vida do nosso país.*

- ☐ A. Sim, porque a tecnologia sempre melhorou o nível de vida e não há razão para que o não faça agora.
- ☐ B. Sim, porque quanto mais sabemos, melhor podemos resolver os nossos problemas e cuidar de nós mesmos.
- ☐ C. Sim, porque a tecnologia cria trabalho e prosperidade. A tecnologia ajuda a tornar a vida mais agradável, mais eficiente e mais divertida.
- ☐ D. Sim, mas só para aqueles que a podem usar. Mais tecnologia destruirá postos de trabalho e fará com que haja mais gente abaixo da linha de pobreza.
- ☐ E. Sim e não. Mais tecnologia tornaria a vida mais agradável e mais eficiente, MAS também causaria mais contaminação, desemprego e outros problemas. O nível de vida pode melhorar, mas a qualidade de vida pode não melhorar.
- ☐ F. Não, porque somos irresponsáveis com a tecnologia que agora temos; como exemplos podemos citar a desmesurada (imensa) produção de armas e o uso abusivo dos recursos naturais.

40161 *A indústria pesada contaminou enormemente os países industriais. Por tanto, é uma decisão responsável transferi-la para os países não desenvolvidos, onde a contaminação ainda não é tão extensa.*

- ☐ A. A indústria pesada deveria ser transferida para os países não desenvolvidos para salvar o nosso país e as suas gerações futuras da contaminação.
- ☐ B. é difícil de decidir. Transferir a indústria ajudaria os países pobres a prosperar e também a reduzir a contaminação do nosso país. Mas não temos o direito de contaminar o meio ambiente de outros lugares.

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

- ☐ C. A questão não é onde está localizada a indústria pesada. Os efeitos da contaminação são globais sobre a Terra.
A indústria pesada NÃO deveria transferir-se para os países não desenvolvidos:
- ☐ D. porque transferir a indústria não é uma forma responsável de resolver a contaminação. Deveria reduzir-se ou eliminar a contaminação aqui, em vez de criar mais problemas em qualquer outro lugar.
- ☐ E. porque esses países têm já suficientes problemas sem considerar o problema da contaminação.
- ☐ F. porque a contaminação deveria ser limitada tanto quanto possível. Aumentá-la só criaria mais danos.

70711 *Os cientistas formados em diferentes países têm maneiras diferentes de ver um problema científico. Isto quer dizer que o sistema educativo ou a cultura de um país pode ter influência sobre as conclusões a que chegam.*

De fato, o país marca diferenças:

- ☐ A. porque a educação e a cultura afetam todos os aspectos da vida, incluindo a formação dos cientistas e a sua maneira de pensar sobre um problema científico.
- ☐ B. porque cada país tem um sistema diferente para ensinar a ciência. A forma como se ensina a resolver problemas estabelece diferenças nas conclusões que alcançam os cientistas.
- ☐ C. porque o governo e a indústria de um país só ajudarão economicamente os projetos científicos que se ajustem às suas necessidades. Este aspecto condiciona o que um cientista estudará.
- ☐ D. Depende. A forma como um país prepara os seus cientistas pode estabelecer diferenças em alguns cientistas. MAS outros cientistas vêem os problemas à sua maneira, baseando-se nas suas opiniões pessoais.
- O país NÃO marca diferenças:
- ☐ E. porque os cientistas vêem os problemas à sua maneira pessoal, independentemente do país onde se prepararam.
- ☐ F. porque os cientistas de todo o mundo usam o mesmo método científico, que conduz a conclusões similares.

80131 *Quando se desenvolve uma nova tecnologia (por exemplo, um computador novo, um reactor nuclear, um míssil ou um medicamento novo para curar o câncer), esta pode ser posta em prática ou não. A decisão de usar a nova tecnologia depende das vantagens para a sociedade compensarem a desvantagens.*

- ☐ A. A decisão de usar uma nova tecnologia depende principalmente dos benefícios para a sociedade, porque se há demasiadas desvantagens, a sociedade não a aceitará e esta pode travar o seu desenvolvimento posterior.
- ☐ B. A decisão depende de algo mais do que só as vantagens ou desvantagens da tecnologia. Depende do bom funcionamento, do seu custo e da sua eficiência.
- ☐ C. Depende do ponto de vista que se tenha. O que é uma vantagem para uns pode ser uma desvantagem para outros.
- ☐ D. Muitas tecnologias novas puseram-se em funcionamento para ganhar dinheiro ou alcançar poder, ainda que as suas desvantagens fossem maiores que as suas vantagens.
- ☐ E. Depende do tipo de nova tecnologia de que se trate. Nuns casos, a decisão dependerá das vantagens ou das desvantagens, e noutros casos, dependerá de outras coisas.

Leia com atenção cada questão e as diferentes frases alternativas. Atribua um valor a cada uma delas, no quadrado correspondente e com sinceridade

Grau de concordância: menor (1 2 3 4 5 6 7 8 9) maior E. Não a entendo. S. Não sei o suficiente para a avaliar.

90211 *Muitos modelos científicos usados nos laboratórios de investigação (tais como o modelo do calor, o dos neurónios, do DNA ou do átomo), são cópias da realidade.*

Os modelos científicos SÃO cópias da realidade:

- ☐ A. porque os cientistas dizem que são verdadeiros, portanto devem sê-lo.
- ☐ B. porque há muitas provas científicas que demonstram que são verdadeiros.
- ☐ C. porque são verdadeiros para a vida. O seu objetivo é mostrar-nos a realidade ou ensinar-nos algo sobre ela.
- ☐ D. Os modelos científicos são, muito aproximadamente, cópias da realidade, porque são baseados em observações científicas e em investigação.

Os modelos científicos NÃO são cópias da realidade:

- ☐ E. porque simplesmente são úteis para aprender e explicar, dentro das suas limitações.
- ☐ F. porque mudam com o tempo e com o estado do conhecimento, como o fazem as teorias.
- ☐ G. porque estes modelos devem ser ideais ou conjecturas bem informadas, já que o objeto real não pode se visto.

Obrigado pela sua colaboração!

APÊNDICE 3

Tabla 23 - Respostas dos participantes com relação às SD

Questão 3	
Quais aspectos diferenciam uma sequência de ensino e aprendizagem para uma sequência de ensino e aprendizagem investigativa?	
Participante	Resposta
LQ-01	<u>Na sequência de ensino o professor fica mais “preso” à um planejamento e os alunos podem não se sentirem tão livres para expressar opiniões, no investigativo o discente tem uma abertura maior para pesquisar, falar, e compartilhar com os colegas opiniões.</u>
LQ-02	<u>A sequência de ensino e aprendizagem por investigação se diferencia da sequência de ensino e aprendizagem comum pois na investigativa é explorado o conhecimento que os alunos trazem do seu cotidiano.</u>
LQ-03	<u>Diferencia no próprio projeto de aprendizagem, ou seja, contém uma análise mais empírica de diversos temas propostos em várias áreas do conhecimento, para que se possa ter um embasamento necessário que busque a sua real identificação</u>
LQ-04	<u>Na primeira você apresenta ao aluno uma sequência pré-estabelecida, mostrando das ideias iniciais até chegar ao produto final, destacando cada ponto importante. Já na segunda mostra o final para que estudante formule suas hipóteses e teorias sobre o assunto. (Meio que inverte a ordem... Tipo isso)</u>
LQ-05	<u>Aluno como centro de investigação, alunos instigados a participarem de atividades relacionadas ao tema, desenvolvimento de habilidades investigativas e reflexão do conteúdo.</u>
LQ-06	<u>A sequência de ensino e aprendizagem requer domínio do conteúdo e boa aplicação. Já a sequência de ensino e aprendizagem investigativa, requer que o professor construa uma abordagem que instigue a curiosidade e principalmente, a atenção dos estudantes, tudo também partindo do mesmo ponto de ensino e aprendizagem</u>
LQ-07	<u>Acredito que a sequência de ensino e aprendizagem investigativa propõe que o estudante observe um ponto e procura meios para entender aquilo. Para isso, se utiliza conhecimentos científicos. Já a sequência de ensino e aprendizagem já apresenta os conhecimentos científicos logo no início.</u>
LQ-08	<u>A diferença é que uma foca em incorporar estratégias e fazer com que o aluno tenha um interesse maior, pensando na resolução de problemas.</u>
LQ-09	<u>A diferença se dá no modo com o que é aplicada. No investigativo, o aluno é quem vai atrás da resolução do problema</u>

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

APÊNDICE 4

Tabla 24 - Respostas dos participantes com relação à Educação CTS

Questão 5		
Como você descreveria a Educação CTS?		
Participante	Resposta	Unidade de sentido
LQ-01	Ciência, tecnologia e sociedade caminham juntos, ambos são responsáveis por “puxar” o outro.	Inconclusiva
LQ-02	A educação CTS é uma abordagem necessária nas escolas, pois ela <u>proporciona um conhecimento científico, aplicações tecnológicas e retrata problemas sociais.</u>	Relação CTS Abordagem
LQ-03	<u>Descreveria como a educação que precisa ser melhorada e implementada em todos os níveis da educação, desde os anos iniciais até o nível superior,</u> a descreveria apenas como uma necessidade que nós deveríamos ter para ajudar no nosso sistema educacional brasileiro, contendo aulas que podem ser curriculares e com a sua concepção.	Abordagem
LQ-04	A educação CTS busca formar alunos capazes de ter um <u>pensamento crítico</u> acerca de um dado conteúdo, de um tema... Faz com que ele crie seu próprio pensamento sobre tal assunto. Relaciona a ciência, tecnologia e sociedade, buscando sempre melhores caminhos para resolver problemas que envolvem a ciência.	Relação CTS Pensamento crítico
LQ-05	Integra ciência, tecnologia e sociedade, e como se relacionam/influenciam.	Inconclusiva
LQ-06	É um modo de ensino baseado em pesquisas, com foco na sociedade e com visão para a Tecnologia. <u>Um conjunto de ensino - mais amplo e completo</u>	Relação TS Abordagem
LQ-07	É uma <u>educação que tem como objetivo incluir a ciência, tecnologia e sociedade nos conceitos científicos,</u> como forma de aproximar a realidade do estudante com a teoria.	Relação CTS
LQ-08	<u>Abordagem que busca integrar conhecimentos científicos, tecnológicos e sociais, e a interação entre estes.</u> E ela visa promover visão mais ampla e contextualizada da ciência, da tecnologia e da sociedade para que os estudantes sejam cidadãos ainda mais conscientes, ativos e saibam lidar com questões mais complexas.	Relação CTS Abordagem Pensamento crítico
LQ-09	É uma educação baseada nos 3 pilares, trabalhando em conjunto para que ciência, tecnologia e ciências sejam aliadas e caminhem junto	Inconclusiva

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

APÊNDICE 5

Quadro 2 - Intervenção proposta sobre o tema lâmpadas

SD para intervenção			
Tema	Lâmpada de Halogênio		
Conteúdo	Equilíbrio Químico		
QSC	Considerando o impacto do descarte inadequado, a transição tecnológica para o LED foi realmente uma solução sustentável ou apenas criamos um novo problema de lixo eletrônico para o futuro?		
	Objetivo	Conteúdo	Recurso
Atividade 1 - Identificar o conhecimento prévio dos participantes sobre o ciclo de vida das lâmpadas e problematizar as práticas de descarte local à luz do referencial de Questões Sociocientíficas (QSC).			
1 aula	Levantar e socializar informações sobre o tema; Discutir a proposta a partir do artigo.		Roda de conversa e Artigo científico (Sousa & Teixeira, 2017).
Desenvolvimento	Contextualização Local: Início com uma roda de conversa mediada pela pergunta norteadora: <i>"Para onde vão as lâmpadas que queimam em nossas casas e na universidade?"</i> . Discussão sobre a existência (ou ausência) de postos de coleta seletiva e logística reversa na cidade. 2. Fundamentação Teórica: Leitura e discussão dirigida do artigo de Sousa & Teixeira (2017). O foco da discussão será identificar quais características de uma QSC (complexidade, controvérsia, dimensões éticas e políticas) estão presentes no problema do descarte de lâmpadas. 3. Socialização: Sistematização no quadro das dimensões identificadas (Ambiental, Econômica, Social e Química).		
Atividade 2 - O Instrumento de Coleta e o Diagnóstico de Realidade			
2 aulas	Instrumentalizar os licenciandos para a construção e aplicação de questionários como ferramentas de levantamento de concepções prévias e diagnósticos de contexto. Identificar e diferenciar as tecnologias de iluminação (incandescente, fluorescente, halógena e LED) e os critérios socioeconômicos para sua escolha.	Tipos de lâmpadas; Eficiência energética; Critérios de consumo e descarte.	Questionário estruturado e Artigo científico (REDEQUIM).
Desenvolvimento	Análise Crítica do Instrumento: Entrega do questionário modelo aos licenciandos. A atividade consistiu na resolução individual do instrumento, seguida de uma discussão reflexiva sobre a estrutura das perguntas e sua eficácia para coletar dados sobre o uso de lâmpadas em diferentes esferas. Sistematização de Dados: Socialização das respostas para identificar a predominância tecnológica em cada setor. Os licenciandos foram desafiados		

	a inferir os motivos dessas escolhas (durabilidade, custo/benefício, tipo de material), exercitando a leitura crítica da realidade local. Problematização e Hipóteses: Discussão sobre o ciclo de vida desses materiais, com foco no levantamento de hipóteses sobre os riscos ambientais derivados do descarte inadequado. Fundamentação Pedagógica: Discussão do artigo da REDEQUIM sobre o uso de Sequências Didáticas no ensino de Química, articulando a teoria da organização do ensino com a prática realizada na atividade.		
Atividade 3 - A Modelização do Fenômeno Luminoso e o Equilíbrio Químico			
6 aulas	Identificar modelos mentais iniciais sobre a constituição da matéria e o conceito de Equilíbrio Químico (EQ). Diferenciar tecnologias de iluminação por meio da análise macroscópica (maquetes) e submicroscópica (modelos químicos). Compreender o ciclo regenerativo das lâmpadas de halogênio como um sistema em equilíbrio dinâmico e reversível.	Propriedades e estados de agregação da matéria; Fenômenos de incandescência e luminescência (fluorescência/fosforescência); Reações químicas e Reversibilidade; Equilíbrio Químico; Termoquímica (energia e calor).	Maquetes comparativas; Esquemas representativos das reações internas; Lousa; Questionário de ideias iniciais.
Desenvolvimento	Levantamento de Concepções: Aplicação de questionário e solicitação de um desenho representativo (modelo pictórico) da estrutura interna de uma lâmpada. O objetivo é mapear como o licenciando integra o conhecimento químico ao objeto tecnológico. Análise Sensorial e Confronto: Organização em grupos para exploração das maquetes com os quatro tipos de lâmpadas. Os participantes devem confrontar suas representações prévias com o material físico, identificando componentes (filamentos, gases, revestimentos). Mediação Fenomenológica: Retomada e diferenciação teórica dos fenômenos físicos e químicos envolvidos: a agitação térmica (incandescência) versus a excitação eletrônica (fluorescência/fosforescência), resgatando conhecimentos prévios do curso de Química. Modelagem do Equilíbrio Químico: Foco na lâmpada de halogênio: discussão sobre o ciclo regenerativo do tungstênio. Utilização de equações químicas e modelos submicroscópicos para explicar a reversibilidade da reação e como o equilíbrio químico impede o desgaste do filamento, garantindo maior durabilidade (relação com a QSC). Síntese e Riscos: Relacionar a composição química estudada (ex: vapor de mercúrio) com os riscos ambientais e de saúde, fechando o ciclo de funcionamento e descarte.		
Atividade 4 - Síntese CTS e Tomada de Decisão: O Problema do Descarte			

1 aula	Analisar as interdependências entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no ciclo de vida das lâmpadas. Desenvolver a capacidade argumentativa e a alfabetização científica para a resolução de questões sociocientíficas (QSC). Refletir sobre a prática docente na elaboração de SDs com enfoque CTS.	Transformação química; Sustentabilidade; Impactos socioambientais; Relações C-T-S.	Aplicativo Padlet; Artigo científico (REDEQUIM); Debate regrado.
Desenvolvimento	Debate Estruturado (Tríade CTS): Divisão dos licenciandos em três grupos focais, cada um encarregado de defender uma dimensão do problema no Padlet: <u>Grupo C&T</u>: Foco na inovação tecnológica, durabilidade e eficiência (ex: o avanço do LED e do equilíbrio químico nas halógenas). <u>Grupo T&S</u>: Foco no impacto do descarte e na logística reversa (os efeitos da tecnologia no meio urbano e social). <u>Grupo C&S</u>: Foco em como o conhecimento científico gera novas demandas éticas e ambientais (a responsabilidade da ciência perante a sociedade). Socialização e Releitura do Problema: Através dos argumentos postados no Padlet, os estudantes realizam a "releitura" da questão inicial (o descarte na cidade), agora utilizando as "lentes da ciência" e os conceitos químicos discutidos na Atividade 3. Fechamento Metadidático: Discussão do artigo da REDEQUIM sobre a formação inicial. O objetivo é que os licenciandos identifiquem, na prática que acabaram de realizar, os elementos necessários para construir suas próprias sequências didáticas CTS no futuro.		
Atividade 5 - Ação Sociopolítica e Síntese de Conhecimentos			
1 aula	Elaborar uma proposta de intervenção fundamentada para o descarte de lâmpadas, demonstrando a capacidade de aplicar conhecimentos científicos na resolução de problemas sociocientíficos reais.	Ciclo de vida dos materiais; Riscos socioambientais; Logística reversa; Sustentabilidade.	Trabalho em grupo e produção textual.
Desenvolvimento	Elaboração da Proposta de Intervenção: Os grupos devem redigir um documento (projeto de lei, roteiro de campanha comunitária ou plano de gestão escolar) que apresente estratégias viáveis para o descarte de lâmpadas no município. Aplicação do Conhecimento Científico: A proposta deve, obrigatoriamente, ser fundamentada nos conceitos discutidos ao longo da SD (como a toxicidade do mercúrio nas fluorescentes versus o lixo eletrônico dos semicondutores de LED). O foco é responder à questão: <i>"Como o conhecimento químico justifica a estratégia de descarte proposta?"</i>. Avaliação Formativa e Somativa: O professor utiliza o documento final como instrumento para avaliar a evolução dos modelos mentais dos		

	licenciandos e sua capacidade de transitar entre a ciência pura e sua aplicação social.		
Atividade 6 - Transferência e Extensão do Modelo de Equilíbrio			
1 aula	Avaliar a capacidade de transferência do modelo de Equilíbrio Químico (EQ) para novos contextos, consolidando o processo de modelização e a percepção da abrangência dos conhecimentos científicos.	Equilíbrio Químico em diferentes sistemas (gasosos, aquosos ou biológicos); Reversibilidade; Constante de Equilíbrio.	Questionário avaliativo de transferência.
Desenvolvimento	Desafio de Generalização: Aplicação de um questionário com situações-problema que fogem ao contexto das lâmpadas (ex: o equilíbrio da hemoglobina com oxigênio, a síntese da amônia ou a formação de cavernas/estalactites). Mobilização de Modelos: Os licenciandos devem utilizar a estrutura explicativa construída na Atividade 3 (reversibilidade e equilíbrio dinâmico) para prever comportamentos nesses novos sistemas. Reflexão Metacognitiva: Discussão final sobre a importância da etapa de "aplicação em outros sistemas" no planejamento docente, mostrando que uma SD (SD) completa deve levar o aluno a perceber que a Ciência não explica apenas um objeto (a lâmpada), mas leis universais da natureza.		

APÊNDICE 6

Quadro 3 - Roteiro do Grupo Focal

Roteiro Grupo Focal

Aquecimento: *propor que cada participante faça um comentário geral sobre o tema ou pedir que façam anotações pessoais sobre a questão inicial (dizer como foi o processo ou de que forma isso contribuiu para a formação e aprendizagem)*

Atividade: *Hoje realizaremos a última atividade em grupo do nosso projeto, que será a realização de grupo focal.*

Objetivo: *Este grupo tem objetivo de avaliar como foi a experiência de elaborar a SEA e como foi o estudo através da oficina.*

Instrumentos: *Para análise nós precisaremos registrar a sessão que terá duração de 1h30 a 3h, a gravação é necessária para a transcrição das falas que farão parte da análise desse processo e as anotações nos ajudarão nessa etapa.*

Sigilo: *Todos os dados gerados no grupo focal serão mantidos em sigilo e os autores das falas não serão identificados.*

No início gostaria de propor que cada um fizesse um comentário geral sobre a experiência de passar por essas atividades da pesquisa.

Desenvolvimento:

Primeira reunião:

Gostaria que vocês comentassem o que vocês acharam do tema. Como vocês avaliam esse processo pensando a formação?

Segunda reunião:

Quais foram os conhecimentos que vocês necessitaram mobilizar para conseguir construir a SEA?

Quais suas experiências com a área de ensino de Química?

Quais as etapas vocês consideram essenciais na SEA para a aprendizagem?

Dentre as características da educação CTS comente quais foram contempladas na SEA proposta.

Como foi a experiência de planejar um material para ensinar conteúdos de química na perspectiva da educação CTS?

Quais os critérios que vocês utilizaram para escolher os recursos que utilizariam durante as aulas?

Quais as vantagens e desvantagens do ensino nessa perspectiva em relação à educação tradicional?

Fonte: Elaborado pela autora

APÊNDICE 7

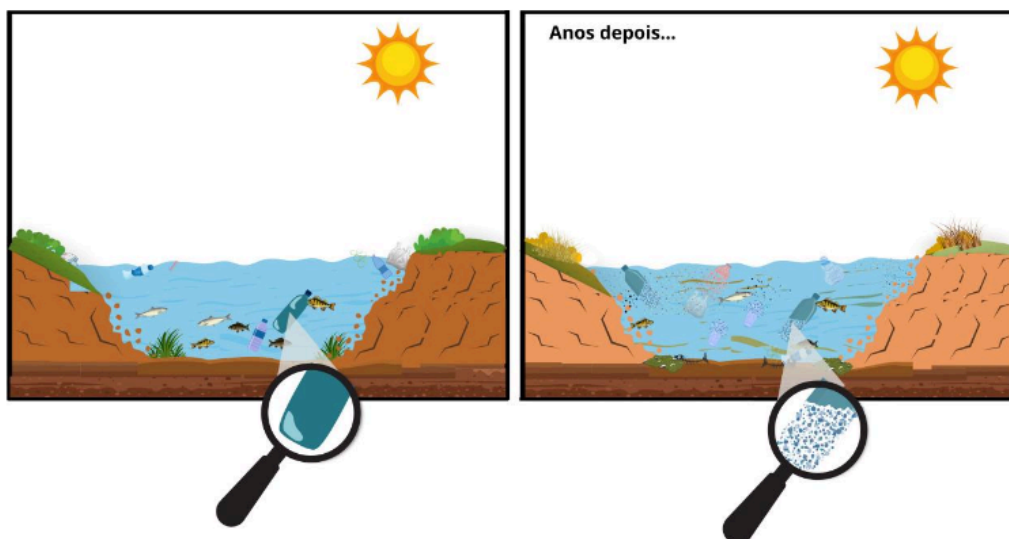


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Sala 314 E -
Alfenas/MG- CEP 37130-000 Fone: (35) 3701 9153

Coleta de informações para elaboração do Modelo Estudantil Inicial

Nível educativo: Ensino Médio

1) A exposição prolongada dos polímeros plásticos ao clima – sol, vento, chuva –, sob a ação principal da radiação ultravioleta, comumente gera mudanças neste material. O cenário mostra embalagens compostas principalmente por polímeros de poliestireno e descartadas no meio ambiente. O que você acha que acontecerá com esses polímeros nessas condições durante alguns anos?

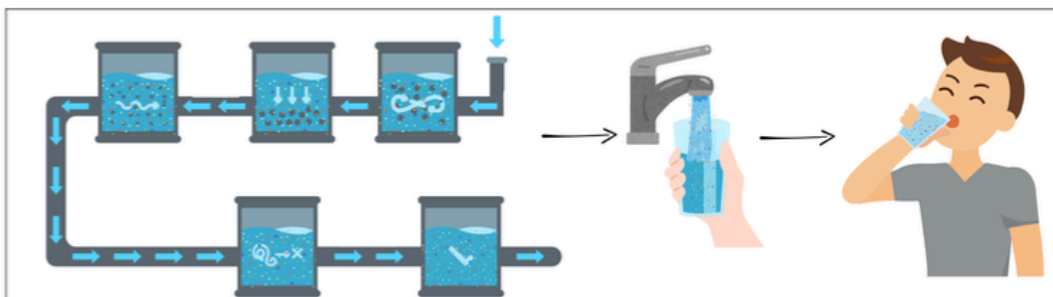


Descreva o que acontece com esses polímeros e explique por que isso acontece:

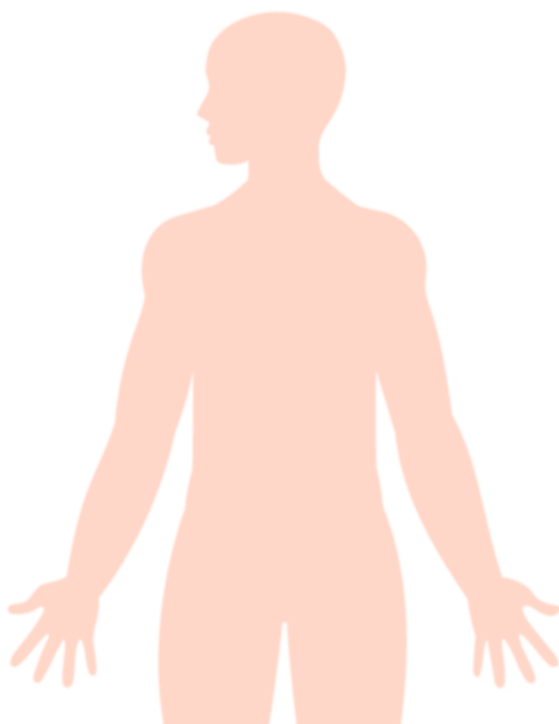
2) Os polímeros no ambiente se modificam e não são facilmente removidos. Uma das consequências disso pode ser a ingestão **frequente** desses polímeros pelos seres humanos.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Sala 314 E -
Alfenas/MG- CEP 37130-000 Fone: (35) 3701 9153



Uma vez ingeridos o que ocorrerá? Represente por meio de um desenho.



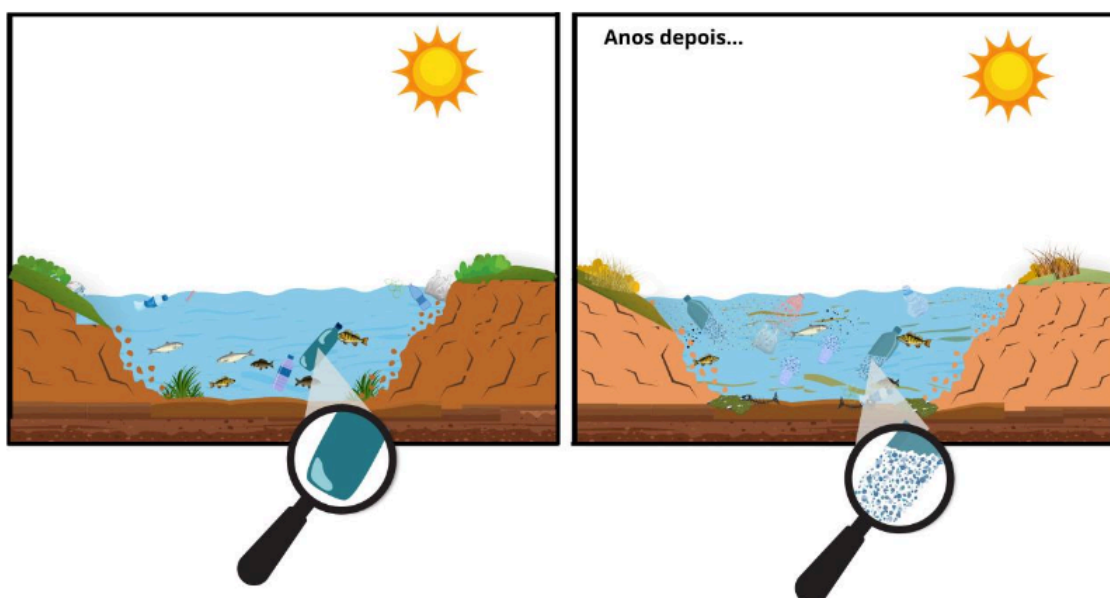


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Sala 314 E -
Alfenas/MG- CEP 37130-000 Fone: (35) 3701 9153

Coleta de informações para elaboração do Modelo Estudantil Inicial

Nível educativo: Ensino Médio

1) Observe atentamente estas imagens.

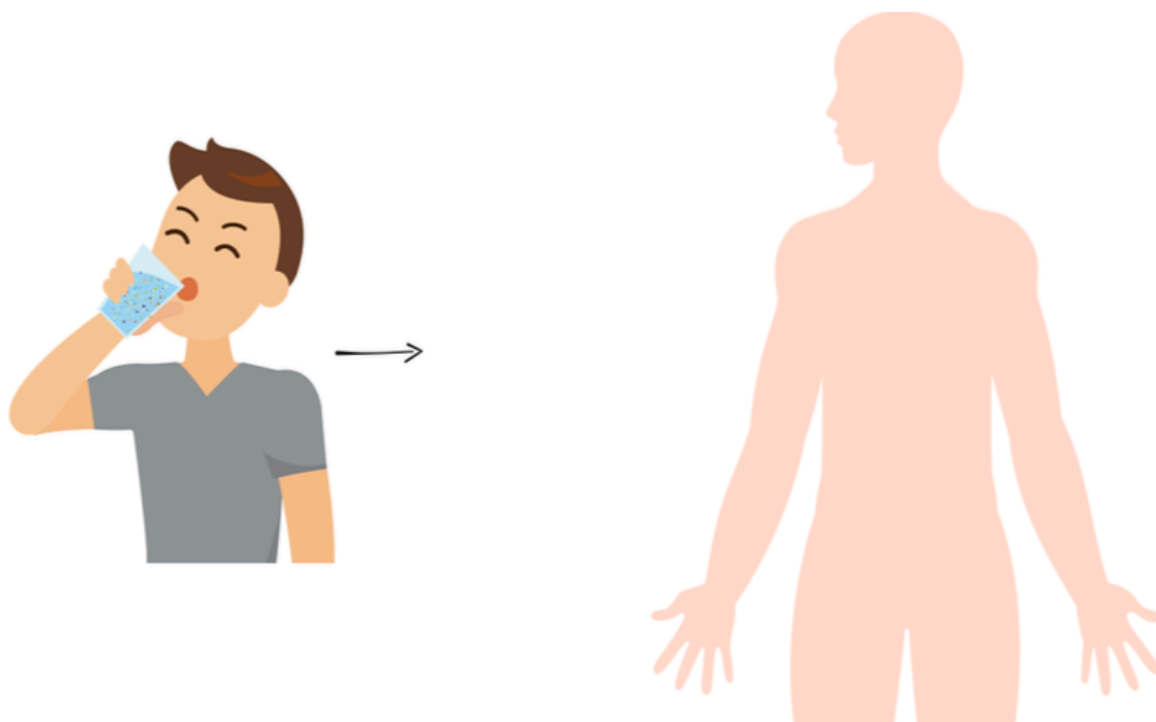


Descreva o que ocorreu com esses polímeros plásticos e explique por que isso acontece:



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Sala 314 E -
Alfenas/MG- CEP 37130-000 Fone: (35) 3701 9153

2) O que acontece no corpo humano se bebermos água **regularmente** como a da imagem anterior? Desenhe o que acontece.



Explique o que aconteceu com suas palavras.

APÊNDICE 8

SD do Participante LQ-01: [Chuva Ácida]

Tema	Chuva Ácida
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Química - Biologia
Duração	Três aulas
Objetivos	Não apresenta
Estrutura	Aula 1 – Introdução ao tema Iniciar com uma discussão sobre os problemas ambientais enfrentados pela sociedade atualmente, presente aos alunos o conceito de chuva ácida e seus efeitos nocivos ao meio ambiente, como a acidificação de rios, lagos e solos, danos a ecossistemas e monumentos históricos, além de problemas de saúde humana mostrando imagens e Explore as causas da chuva ácida, como a emissão de gases poluentes na atmosfera (óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre) provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis em veículos e indústrias. Aula 2 – Investigação e experimentação “É possível tornar a água ácida apenas soprando sobre ela?” Materiais empregados: • água de torneira; • um erlenmeyer de 250 mL; • indicador ácido base líquido (azul de bromotimol); • kit de medição de pH. • chamar um aluno para medir o pH da água de torneira; • colocar água no erlenmeyer; • pingar o indicador ácido-base na água; • homogeneizar a solução; • mandar a turma observar o resultado; • discutir com a turma o que eles observaram; • pedir para um aluno soprar no erlenmeyer e agitar a água; • pedir para outro aluno soprar no erlenmeyer e agitar a água; • repetir o procedimento acima várias vezes; • mandar a turma observar o resultado; • discutir com a turma o que eles observaram; • perguntar à turma como é o processo de respiração; • perguntar à turma qual a porcentagem de gás carbônico existente no ar que expiramos Aula 3 – Relatório sobre experimentação Promover debates em sala de aula sobre as medidas individuais e coletivas que podem ser adotadas para reduzir as emissões poluentes e minimizar os efeitos da chuva ácida e realizar atividades interdisciplinares, como a criação de cartazes, produção de vídeos ou campanhas de conscientização sobre a chuva ácida e suas consequências.
Conceitos abordados	Acidez pH

	Gases Óxidos
Recursos	Experimentação
Fenômenos estudados	Chuva ácida Acidificação de rios, lagos e solos Emissão de gases poluentes
Atividades interdisciplinares	As atividades interdisciplinares propostas pelo participante se constituem por criação de cartazes, produção de vídeos ou campanhas de conscientização sobre a chuva ácida.
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Não apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Não apresenta
Conteúdo CTS	C: Chuva ácida, processo de acidificação, composição dos gases poluentes, emissão de gases poluentes T: - S: Impactos causados pela chuva ácida, como a acidificação de rios, lagos e solos

APÊNDICE 9

SD do Participante LQ-02: [Oxidação de Viaduto]

Tema	Xixi coloca em risco viaduto
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Quatro aulas
Objetivos	Introduzir aos alunos conceitos básicos de eletroquímica, especificamente sobre reações de oxirredução, tendo em vista o ensino CTSA e as possíveis dificuldades dos alunos. Ensinar reações de oxidação e redução
Estrutura	Aula 1 Identificar e trabalhar as possíveis dificuldades que os alunos possam ter no processo de aprendizagem de eletroquímica. Logo no primeiro momento será realizado uma pequena revisão do modelo atômico de Bohr, ligações químicas, balanceamento e conceitos da tabela periódica Aulas 2 e 3 - Será lido e discutido a notícia sobre corrosão do viaduto, levantando conhecimentos prévios dos alunos sobre corrosão, ácidos, base, transformação química. E será perguntado se realmente é o ácido que corrói a estrutura. - Em seguida será apresentado aos alunos resultados práticos de uma experiência que consiste em colocar um prego em cada garrafinha com soluções diferentes e discutir o que ocorre. - Após a discussão será apresentado aos alunos os conceitos de oxirredução com aula expositiva, buscando sempre a participação dos alunos. O conteúdo será passado na lousa em forma de esquema. - Logo após a apresentação dos conceitos de oxirredução será discutido novamente o que corrói a estrutura do viaduto, visando os conceitos aprendidos. Aula 4 Nesse momento será realizada uma gincana virtual em grupo no kahoot (site de aprendizado virtual). Em que os alunos vão se dividir em grupos de cinco e será projetado pelo datashow questões sobre o tema aprendido, e cada grupo terá um tempo para responder às questões pelo próprio celular, e o grupo que responder o maior número de questões corretas ganha um prêmio.
Conceitos abordados	Eletroquímica Nox Modelo atômico de Bohr Ligação Química
Recursos	Notícias sobre o tema Experimentação
Fenômenos estudados	Corrosão de viadutos
Atividades interdisciplinares	Não apresenta

Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Não apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Aulas expositivas
Conteúdo CTS	C: Corrosão de viadutos T: - S: -

APÊNDICE 10

SD do Participante LQ-04: [Tabela Periódica]

Tema	Tabela Periódica
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Cinco semanas
Objetivos	Compreender a organização e a estrutura da tabela periódica Identificar as propriedades periódicas dos elementos e sua relação com a posição na tabela Reconhecer as famílias/grupos e períodos da tabela periódica Aplicar as informações da tabela periódica para prever comportamentos e características dos elementos químicos.
Estrutura	Semana 1 – Introdução à Tabela Periódica; Famílias e Períodos Apresentação da história e do desenvolvimento da tabela periódica. Explicação da organização dos elementos em ordem crescente de número atômico. Identificação dos blocos s, p, d e f na tabela periódica. Exploração das famílias ou grupos da tabela periódica (metais alcalinos, metais alcalino-terrosos, halogênio, gases nobres, etc.) Semana 2 – Propriedades periódicas Identificação das principais propriedades periódicas (raio atômico, energia de ionização, afinidade eletrônica, eletronegatividade, etc.) Relação entre a posição do elemento na tabela periódica e suas propriedades físicas e químicas. Exercício: prever tendências e comparar propriedades de elementos em diferentes períodos e famílias. Semana 3 – Elementos de Transição Exploração dos elementos de transição e suas características específicas. Análise das propriedades únicas dos elementos de transição e suas aplicações na indústria cotidiana. Atividades práticas: identificação e pesquisa sobre elementos de transição e suas utilizações Semana 4 – Tendências e comportamentos químicos Discussão sobre as tendências na tabela periódica relacionadas a reatividade, eletropositividade, eletronegatividade entre outras. Análise das variações de propriedades ao longo dos períodos e grupos. Resolução de exercícios e problemas envolvendo comportamentos químicos dos elementos. Semana 5 – Revisão e Avaliação Atividade de revisão dos principais conceitos abordados na tabela periódica, realizada através de uma atividade lúdica, como por exemplo um jogo de bingo adaptado ao tema. Aplicação de uma avaliação teórica.

Conceitos abordados	Elementos Número atômico Raio atômico Energia de ionização Afinidade eletrônica Reatividade Eletropositividade Eletronegatividade
Recursos	Experimentação
Fenômenos estudados	Não apresenta
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Não apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Não apresenta
Conteúdo CTS	C: Propriedades periódicas e físico-químicas dos elementos T: Aplicações industriais dos elementos de transição S: -

APÊNDICE 11

SD do Participante LQ-05: [Química Orgânica]

Tema	Estrutura do átomo de carbono, grupos funcionais e reações orgânicas
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Quatro semanas
Objetivos	Apresentar aos alunos os conceitos fundamentais da química orgânica, incluindo a estrutura do átomo de carbono, grupos funcionais e nomenclatura de compostos orgânicos.
Estrutura	Atividades Propostas: a) Aulas expositivas: Apresentação dos conceitos fundamentais da química orgânica por meio de exposições dialogadas e uso de recursos audiovisuais como slides; b) Atividades práticas: Realização de experimentos simples que exemplifiquem os conceitos abordados, como a síntese de compostos orgânicos ou a identificação de grupos funcionais através da mudança de coloração da solução; c) Discussões em grupo: Promover debates e discussões entre os alunos sobre temas relacionados à química orgânica, incentivando a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento de forma contextualizada com o dia a dia dos alunos; d) Exercícios e resolução de problemas: Elaborar exercícios práticos que envolvam os conceitos estudados, proporcionando aos alunos a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido principalmente de maneira contextualizada abordando situações cotidianas. Descrição das Atividades: Aula expositiva: Introdução à Química Orgânica Objetivo: ● Apresentar aos alunos os conceitos fundamentais da química orgânica, incluindo a estrutura do átomo de carbono, grupos funcionais e nomenclatura de compostos orgânicos. ● Duração: 60 minutos Recursos necessários: ● Computador com acesso a um programa de apresentação de slides ● Projetor ou tela para exibir os slides Material impresso contendo resumo dos principais pontos abordados na aula para os alunos Preparação prévia: ● Elaborar uma apresentação de slides que aborde os conceitos fundamentais da química orgânica, como a estrutura do átomo de carbono, os principais grupos funcionais e a nomenclatura de compostos orgânicos. Certifique-se de utilizar

linguagem clara e exemplos práticos para facilitar a compreensão dos alunos.

- Organize os slides de forma lógica, dividindo-os em seções que abordem cada conceito de forma sequencial.

Introdução (10 minutos):

- Iniciar a aula introduzindo o tema da química orgânica e sua importância no estudo das substâncias presentes nos seres vivos e em diversos materiais do cotidiano.
- Contextualizar a importância dos compostos orgânicos na sociedade, mencionando exemplos de aplicação, como medicamentos, plásticos e combustíveis.

Desenvolvimento (40 minutos):

- Apresentar os slides de forma clara e interativa, explicando os conceitos principais da química orgânica. Utilize recursos visuais, como estruturas moleculares e esquemas, para ilustrar os conceitos abordados.
- Iniciar explicando a estrutura do átomo de carbono, enfatizando sua capacidade de formar ligações covalentes e a formação de cadeias carbônicas.
- Apresentar os principais grupos funcionais, explicando suas estruturas e propriedades. Destacar também a importância dos grupos funcionais na determinação das propriedades físicas e químicas dos compostos orgânicos.
- Abordar a nomenclatura de compostos orgânicos, explicando as regras básicas e exemplificando com alguns compostos simples.
- Durante a explanação, promover momentos de interação com os alunos, fazendo perguntas e incentivando a participação ativa.

Conclusão (10 minutos):

- Fazer uma revisão dos principais pontos abordados na aula, enfatizando os conceitos fundamentais da química orgânica.
- Distribuir o material impresso com o resumo dos pontos-chave da aula para que os alunos possam consultar posteriormente.
- Abrir espaço para perguntas e esclarecimentos finais.

Síntese de compostos orgânicos:

Introdução e segurança (10 minutos):

- Iniciar a atividade com uma breve explicação teórica sobre os experimentos a serem realizados e sua relação com os conceitos da Química Orgânica.

Experimento 1 - Síntese de um composto orgânico (40 minutos):

- Explicar o procedimento detalhado para demonstrar a presença de diferentes pigmentos em folhas vegetais por meio da técnica de cromatografia em papel.
 - Demonstrar a montagem e os passos do experimento aos alunos, enfatizando as etapas críticas e as precauções necessárias.
 - Dividir os alunos em grupos e forneça os materiais e reagentes necessários para que eles realizem o experimento sob sua supervisão.
-

-
- Durante a realização do experimento, circular pelo laboratório para auxiliar e monitorar o progresso dos grupos, esclarecendo dúvidas e garantindo a segurança.

Conclusão (10 minutos):

- Reunir os alunos em uma roda de discussão para compartilhar as observações e resultados obtidos em cada experimento.
- Estimular os alunos a fazerem perguntas e a relacionarem os resultados obtidos com os conceitos teóricos discutidos previamente.

Resolução de problemas:

Materiais necessários:

- Lista de problemas relacionados à Química Orgânica;
- Lousa para registro das respostas e discussão em grupo;
- Livros didáticos, apostilas ou materiais de referência para consulta.

Preparação prévia:

- Selecionar problemas que envolvam a aplicação dos conceitos e princípios da Química Orgânica em situações do cotidiano ou na solução de desafios específicos.
- Organizar a lista de problemas em ordem crescente de dificuldade, começando pelos mais simples e avançando gradualmente.

Introdução da atividade:

- Apresentar aos alunos a proposta da atividade, explicando que eles serão desafiados a resolver problemas relacionados à Química Orgânica utilizando os conhecimentos adquiridos em sala de aula.
- Reforçar a importância da análise estrutural das moléculas e da aplicação dos conceitos aprendidos na busca de soluções.

Resolução dos problemas:

- Distribuir a lista de problemas para os alunos ou projetá-los no quadro.
- Solicitar aos alunos que leiam atentamente cada problema e analisem a estrutura das moléculas envolvidas.
- Os alunos devem aplicar os conceitos aprendidos para propor soluções e explicar os raciocínios utilizados.
- Encorajar a discussão e colaboração entre os alunos, incentivando-os a compartilhar ideias e estratégias para resolver os problemas.

Discussão em grupo:

- Registrar as respostas e soluções propostas pelos alunos no quadro branco ou lousa.
 - Incentivar a participação de todos os alunos na discussão das respostas, permitindo que compartilhem suas justificativas e argumentos.
 - Realizar a análise crítica das soluções, discutindo possíveis erros, abordagens alternativas e a aplicação correta dos conceitos.
 - Feedback e esclarecimento de dúvidas:
-

	• Fornecer feedback aos alunos sobre suas respostas, destacando os pontos fortes e apontando possíveis correções ou melhorias. • Esclarecer dúvidas e oferecer explicações adicionais, se necessário, para garantir a compreensão completa dos conceitos envolvidos nos problemas. Reflexão e síntese: • Finalizar a atividade com uma breve reflexão sobre os desafios enfrentados e a importância da aplicação dos conceitos de Química Orgânica na resolução de problemas. • Sintetizar os principais conceitos e estratégias utilizadas na resolução dos problemas discutidos. Discussões em grupo: • Realizar uma síntese das principais ideias e conclusões obtidas durante as discussões em grupo. • Fomentar uma reflexão final sobre a importância dos temas abordados, destacando como a Química Orgânica está presente no cotidiano e em diversas áreas de aplicação. • Incentivar os alunos a relacionarem os conceitos discutidos com experiências pessoais, situações reais e outros campos do conhecimento.
Conceitos abordados	Elemento Estrutura do átomo de Carbono Grupos Funcionais Nomenclatura de compostos orgânicos
Recursos	Lousa Projetor Slides Experimentação
Fenômenos estudados	Não apresenta
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Apresenta
Conteúdo CTS	C: Composição química de substâncias orgânicas T: Produção de medicamentos e plásticos. Composição de combustíveis. S: -

APÊNDICE 12

SD do Participante LQ-06: [Metal de Sacrifício]

Tema	Metal de Sacrifício
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Duas aulas
Objetivos	Ensino: Ensinar a necessidade de se proteger um metal contra a corrosão Compreender o que é um metal de sacrifício Analisar como são instalados os metais de sacrifício em estruturas metálicas Aprendizagem: Espera-se que o aluno compreenda os conceitos a respeito do metal de sacrifício e consiga identificar quais metais podem ou não ser utilizados para evitar a corrosão de determinadas estruturas metálicas.
Estrutura	Análise de uma imagem de um navio que sofreu oxidação, formando a ferrugem. A partir da imagem pretende-se iniciar uma discussão com os estudantes a respeito da oxidação, e no caso deste navio, o processo de formação da ferrugem. Falando sobre a formação da ferrugem pretende-se apresentar a reação química com intuito de que os estudantes analisem que para que ocorra essa reação química é necessário o contato do ferro com água e oxigênio. Com base nessas informações, pretendo criar uma discussão com os estudantes sobre as formas de evitar a corrosão do metal. Provavelmente os alunos irão citar a pintura, então pretendo fazer com que eles percebam que as pessoas utilizam a pintura como forma de evitar o contato do metal com o oxigênio e água. O próximo passo é apresentar aos estudantes outra forma de proteção contra a oxidação, no caso o uso de um metal de sacrifício. Para isso, pretende-se levar um experimento pronto (devido a demora), e solicitar ajuda aos estudantes para interpretar os resultados do experimento. Com base na análise dos resultados e algumas informações adicionais, pretende-se observar as características de cada metal utilizado no experimento, comparando os valores de potencial de redução, e assim, concluir juntamente com os alunos que: se tivermos um metal no qual queremos proteger, por exemplo o ferro, e colocarmos ele em contato com um outro metal com valor de potencial de redução menor que o do ferro, vamos observar que o metal em contato com o ferro vai fazer com que ele demore mais tempo para oxidar, atuando como um metal de sacrifício. Por outro lado, se colocarmos um metal que tem o potencial de redução maior que o do ferro, vai favorecer o processo de

	oxidação do ferro, sendo assim, este metal não irá atuar como um metal de sacrifício. Ainda com base nos resultados do experimento, pretende-se concluir que quanto maior for a diferença de potencial de redução entre os metais, maior será a proteção do metal principal. Essa sequência foi planejada para estudantes que já estudaram sobre os conceitos de: número de oxidação, potencial de redução/oxidação, reações de oxirredução, DDP, entre outros. Mas, obviamente os estudantes provavelmente não se lembrarão de todos estes conceitos, sendo assim, pretende-se realizar as atividades da seguinte forma: Aula 1: Introdução ao tema, se necessário breve resumo de conceitos vistos anteriormente, discussão sobre oxidação dos metais e formas de proteção. Aula 2: Apresentação do experimento e análise dos resultados. (Nesse momento espera-se que os alunos analisem e comparem os pregos do experimento e busquem identificar características dos possíveis metais que atuaram como metal de sacrifício, e qual não funcionou como tal e porquê.
Conceitos abordados	Reação de oxirredução; Número de oxidação; Potencial de redução; Metal de sacrifício; Atividade para descrever quais metais podem ser utilizados como metal de sacrifício de uma estrutura feita de ferro; Exemplos de aplicações dos metais de sacrifício; Análise dos resultados do experimento;
Recursos	Recursos digitais (Computador e projetor). Materiais para o experimento: prego de aço, fita de magnésio, papel alumínio, fio de cobre, potes de plástico e sal.
Fenômenos estudados	Processos de oxidação e redução de um navio
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Não apresenta
Explicação do conteúdo	Apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Apresenta
Conteúdo CTS	C: Processos de oxidação em navios T: Utilização de metais de sacrifício S: -

APÊNDICE 13

SD do Participante LQ-07: [Poluição Atmosférica]

Tema	Poluição atmosférica
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Duas aulas
Objetivos	De ensino Esta sequência de ensino e aprendizagem (composta de duas aulas), tem como objetivo ensinar aos estudantes do 1º ano do Ensino Médio, o tema da poluição atmosférica e sua relação com a química. O papel do professor na <i>aula 1</i> será explicar o conteúdo da poluição atmosférica e o relacionar com a química. O papel do professor na <i>aula 2</i> será explicar o passo a passo do experimento, assim como dar uma breve explicação lembrando o conteúdo estudado na aula anterior para que os estudantes possam relacionar a teoria com a prática.. Após a realização do experimento, o professor irá discutir e debater os resultados com os estudantes, para primeiramente ter a noção do que os estudantes conseguiram aprender (com a breve explicação e depois com o experimento) para que então possa aprofundar o conteúdo químico em uma próxima aula. A aula experimental tem também o objetivo de quebrar a rotina de aulas maçantes do dia a dia dos estudantes, inserindo uma atividade diferente que cause curiosidade, atitude e debate entre os estudantes, fazendo com que eles investiguem os porquês das reações químicas ocorridas durante o experimento, e caso haja algum erro, eles possam debater e descobrir onde erraram e consertar os erros. A atividade também visa e foca para que os estudantes tenham consciência social e ambiental, fazendo com que eles adquiram conhecimento dos efeitos causados pela poluição. A atividade será feita em grupos, pois além da falta de espaço na sala de aula, e também da possível falta de laboratórios na escola, é intencional que haja discussão entre os estudantes com seus colegas de grupo, para troca de informações, discussões sobre o conhecimento de cada, e junções das ideias e informações para o avanço e realização do experimento. De aprendizagem Os estudantes deverão aprender e compreender como ocorre a poluição atmosférica, através de um experimento simples utilizando materiais cotidianos, e assim visualizarem as reações químicas que ocorrem durante o processo da poluição do ar. O objetivo é que os próprios alunos façam o experimento, tendo assim autonomia para manusear os materiais e os reagentes utilizados. Com isso, a ideia é de que os alunos tenham atitude e liberdade para poderem executar a aula prática, assim como eles terão de discutirem entre si os processos que ocorreram durante o

	experimento, investigarem o que ocorreu e decifram o porquê das reações
Estrutura	Aula 1 - 50 minutos. ● Introdução do conteúdo - 10 minutos; ● Investigação sobre o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema abordado - 10 minutos; ● Aprofundamento do conteúdo - relação da poluição com a química - 20 minutos; ● Discussão do conteúdo químico abordado - 10 minutos. Aula 2 - 50 minutos. ● Revisão do tema da poluição atmosférica - 10 minutos; ● Organização da turma em grupos (os alunos deverão formar grupos de 4 pessoas) - 05 minutos; ● Aplicação e realização da atividade experimental - 25 minutos; ● Discussão dos resultados 10 minutos; - Recursos Didáticos → Materiais Utilizados (Cada grupo precisará de:) ● 1 Bexiga; ● 1 colher de sopa de Pó de Café; ● 1 colher de sopa de Bicarbonato de Sódio; ● 1 copo de Vinagre; ● 1 Garrafa pet (500ml); ● 1 Funil; ● 1 Folha sulfite; ● 1 Fita adesiva (fita adesiva, fita crepe). - Avaliação A avaliação será feita de modo que os estudantes consigam executar o experimento de forma correta e através da explicação do entendimento deles sobre quais reações ocorreram, e a comparação com a poluição atmosférica em grande escala. Eles deverão entender/aprender que o experimento ocorre em paralelo com a poluição por combustíveis fósseis, como ocorre nos automóveis, por exemplo.
Conceitos abordados	Reações químicas; Forças dos ácidos; Molaridade; Reações de combustão; pH, cálculo do pH a partir da molaridade; Efeito sobre o meio ambiente e para a saúde.
Recursos	Experimentação
Fenômenos estudados	Poluição atmosférica
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta

Ensino por investigação	Não apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Não apresenta
Conteúdo CTS	C: Poluição atmosférica T: S: Impactos causados pelos diferentes tipos de poluição

APÊNDICE 14

SD do Participante LQ-08: [Plásticos]

Tema	Impactos ambientais dos plásticos no cotidiano: uma abordagem CTS na Química do ensino médio
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Não apresenta
Objetivos	Não apresenta
Estrutura	a. Apresentação do tema e sua relevância para a sociedade: O tema "Impactos ambientais dos plásticos no cotidiano" aborda as consequências negativas do uso indiscriminado de plásticos na natureza e na vida cotidiana das pessoas. Os plásticos são materiais amplamente presentes em nosso dia a dia, desde embalagens até produtos diversos. No entanto, seu uso excessivo tem gerado graves impactos ambientais. A relevância desse tema para a sociedade é imensa, pois os plásticos têm se acumulado em grandes quantidades nos oceanos, florestas e em áreas urbanas. Essa poluição prejudica a fauna, flora e ecossistemas, afetando negativamente a biodiversidade. Além disso, a queima e a decomposição desses materiais liberam gases tóxicos que contribuem para o aquecimento global e a degradação da qualidade do ar. A problemática dos plásticos não se restringe apenas ao meio ambiente, mas também tem impactos sociais, como o acúmulo de resíduos em áreas urbanas, prejudicando a saúde e a qualidade de vida das comunidades. Portanto, conscientizar-se sobre os impactos ambientais dos plásticos é crucial para buscar alternativas sustentáveis, reduzir o consumo e adotar práticas de descarte adequadas, garantindo um futuro mais saudável para o planeta e as futuras gerações. b. Explanação sobre a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e como ela relaciona a Química com questões ambientais e sociais: A abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) é um enfoque educacional que visa integrar o conhecimento científico e tecnológico com questões sociais, éticas e ambientais. Ela busca destacar a interdependência entre ciência, tecnologia e a sociedade em que estão inseridas, promovendo uma compreensão mais ampla e crítica das implicações desses conhecimentos na vida cotidiana e no mundo em geral. Quando aplicada à Química, a abordagem CTS relaciona essa ciência com questões ambientais e sociais de diversas formas: 1. Impactos Ambientais: Exploração das consequências ambientais da produção, utilização e descarte de produtos químicos, incluindo a poluição do ar, da água e do solo, bem como os efeitos nocivos sobre a fauna e a flora. 2. Tecnologias Sustentáveis: Busca por soluções químicas mais sustentáveis e ecologicamente responsáveis, como o

	desenvolvimento de materiais biodegradáveis, processos de reciclagem e métodos de produção menos poluentes. 3. Ética e Responsabilidade: Análise dos dilemas éticos relacionados a certas descobertas e aplicações químicas, como a utilização de substâncias tóxicas ou a experimentação em animais. 4. Participação Pública: Incentivo ao envolvimento da sociedade nas decisões relacionadas à ciência e à tecnologia química, promovendo a conscientização sobre as escolhas que afetam o meio ambiente e a saúde pública. 5. Educação e Conscientização: Busca por uma educação em Química que vá além dos conceitos puramente científicos, abordando também as implicações sociais e ambientais, preparando cidadãos mais críticos e informados. Assim, a abordagem CTS na Química possibilita que os estudantes compreendam a ciência como parte integrante da sociedade, e não isolada dela, incentivando a busca por soluções mais sustentáveis e responsáveis, visando ao bem-estar coletivo e à preservação do meio ambiente. 2. Conhecendo os plásticos: a. Compreensão da estrutura e propriedades dos plásticos. b. Identificação dos tipos de plásticos mais comuns e suas aplicações no cotidiano. 3. Processos de produção: a. Investigação dos métodos de produção de plásticos e seus impactos ambientais. b. Análise dos processos de reciclagem e suas limitações. 4. Impactos ambientais dos plásticos: a. Discussão sobre a poluição dos oceanos e seus efeitos na fauna e flora: A poluição dos oceanos pelos plásticos é um dos problemas ambientais mais graves enfrentados atualmente. Milhões de toneladas de plásticos são descartadas nos oceanos anualmente, causando impactos significativos na fauna e flora marinha. Os plásticos, especialmente os de uso único como sacolas, garrafas e embalagens, são levados pelas correntes marítimas, acumulando-se em áreas conhecidas como "giros" ou "sopas de lixo". Esses gigantes aglomerados de resíduos plásticos têm um efeito devastador sobre os ecossistemas oceânicos. Os efeitos na fauna marinha são particularmente alarmantes. Muitos animais marinhos confundem os pedaços de plástico com alimentos e os ingerem. Isso causa obstrução do trato digestivo, inanição, envenenamento por substâncias químicas presentes no plástico e até mesmo a morte. Além disso, redes de pesca abandonadas, conhecidas como "redes fantasmas", continuam a capturar e matar animais por longos períodos após serem descartadas. A poluição por plásticos também afeta a flora marinha. Organismos como algas e corais podem ser sufocados pelo acúmulo de plásticos, o que prejudica a capacidade de fotossíntese e a sobrevivência de espécies dependentes desses ecossistemas.
--	--

	Esses efeitos têm repercussões em toda a cadeia alimentar marinha, incluindo seres humanos. Quando animais marinhos contaminados por plásticos são consumidos por nós, os produtos químicos presentes no plástico podem se acumular em nosso organismo, representando riscos à saúde. Para combater esse problema, é essencial reduzir a produção e o consumo de plásticos descartáveis, programar sistemas eficientes de reciclagem e conscientizar a sociedade sobre os impactos devastadores da poluição plástica nos oceanos. É uma questão que requer ações coletivas e individuais para preservar a biodiversidade marinha e garantir a saúde dos ecossistemas oceânicos. b. Exploração das consequências das emissões de gases na atmosfera durante a produção e descarte de plásticos. 5. Alternativas sustentáveis: a. Pesquisa sobre materiais biodegradáveis e compostáveis como opções aos plásticos convencionais: Existem várias alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais que são biodegradáveis e compostáveis, reduzindo assim o impacto ambiental. Algumas das opções são: 1. PLA (Ácido Polilático): É um bioplástico derivado de fontes renováveis, como milho, cana-de-açúcar ou batata. O PLA é biodegradável em condições adequadas de compostagem, reduzindo significativamente o tempo de decomposição em relação ao plástico tradicional. 2. PHA (Polihidroxialcanoato): É um polímero biodegradável produzido a partir de microrganismos que metabolizam açúcares ou óleos vegetais. Os produtos feitos de PHA se degradam naturalmente em ambientes marinhos e de compostagem. 3. Amido de Milho: É uma opção biodegradável que utiliza amido de milho modificado para criar embalagens e sacolas descartáveis. Esses produtos se decompõem em um curto período de tempo em ambientes adequados. 4. Fibras Naturais: Materiais como celulose, algodão orgânico e fibras de coco podem ser utilizados para criar produtos compostáveis, como sacolas e embalagens. 5. Casca de Frutas e Legumes: Resíduos de cascas de frutas e legumes podem ser transformados em bioplásticos, proporcionando uma solução sustentável e de baixo custo. 6. Algas: Bioplásticos produzidos a partir de algas são uma alternativa promissora devido à sua abundância e capacidade de crescimento rápido, tornando-os uma opção viável e ecológica. 7. Fibra de Bambu: O bambu é uma planta altamente renovável e pode ser utilizado na produção de bioplásticos e outros produtos sustentáveis. Essas alternativas mostram que é possível substituir os plásticos convencionais por materiais biodegradáveis e compostáveis, contribuindo para a redução da poluição por plásticos e preservando o meio ambiente. A adoção dessas opções requer o envolvimento de consumidores conscientes, empresas
--	--

	comprometidas e políticas de incentivo à produção e utilização de materiais mais sustentáveis. b. Avaliação de iniciativas e tecnologias que buscam reduzir o uso de plásticos e seus impactos. 6. Aplicação prática: a. Realização de experimento em laboratório para explorar a degradação de diferentes tipos de plásticos: Experimento: Degradação de diferentes tipos de plásticos em condições simuladas de compostagem Objetivo: Investigar e comparar a degradação de diferentes tipos de plásticos em condições simuladas de compostagem, utilizando materiais biodegradáveis como referência. Materiais necessários: 1. Diferentes tipos de plásticos (por exemplo, polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC, PET, etc.) 2. Materiais biodegradáveis (por exemplo, PLA, PHA, amido de milho) fornecidos pela professora 3. Recipientes de compostagem (potinhos ou caixas com tampa) 4. Terra ou substrato rico em matéria orgânica 5. Água 6. Termômetro 7. Balança 8. Etiquetas ou marcadores 9. Cronômetro Procedimento: 1. Corte os diferentes tipos de plásticos em pequenos pedaços, mantendo uma quantidade semelhante para cada material a ser testado. 2. Identifique os recipientes de compostagem com etiquetas ou marcadores para indicar o tipo de plástico em cada um. 3. Preencha os recipientes de compostagem com terra ou substrato rico em matéria orgânica, certificando-se de que todos estejam com a mesma quantidade de material. 4. Adicione uma quantidade de água suficiente para umedecer o substrato, mas não deixe encharcado. 5. Coloque os pedaços de plástico e os materiais biodegradáveis nos recipientes de compostagem, espalhando-os pela superfície do substrato. 6. Feche bem os recipientes com as tampas. 7. Coloque os recipientes de compostagem em um local com temperatura ambiente controlada e iluminação adequada para simular as condições de compostagem. 8. Registre a temperatura ambiente inicial e faça uma leitura diária da temperatura usando o termômetro. 9. Observações diárias: Anote e fotografe as mudanças que ocorrem nos plásticos e nos materiais biodegradáveis ao longo do tempo. 10. Realize medições de massa dos plásticos e materiais biodegradáveis em intervalos regulares (por exemplo, a cada semana) usando uma balança.
--	--

	11. Prossiga com o experimento por um período pré-determinado (por exemplo, 4 a 8 semanas) para observar a degradação dos diferentes materiais. Resultados esperados: Espera-se que os materiais biodegradáveis, como PLA e PHA, apresentem sinais de degradação visíveis, como fragmentação e mudança de aparência, indicando sua decomposição mais rápida em relação aos plásticos convencionais. Já os plásticos tradicionais podem não mostrar mudanças significativas durante o período do experimento. Esse experimento fornecerá uma visão clara da diferença na taxa de degradação entre os plásticos convencionais e os materiais biodegradáveis, destacando a importância de escolhas mais sustentáveis na produção e uso de embalagens e produtos no cotidiano. b. Trabalho em grupo para desenvolver campanhas de conscientização sobre o uso responsável dos plásticos. 7. Avaliação: a. Apresentação dos projetos de conscientização ecológica. b. Discussão em sala de aula sobre os aprendizados adquiridos durante a sequência. 8. Conclusão: a. Recapitulação dos principais conceitos abordados e sua importância no contexto CTS. b. Incentivo à reflexão contínua sobre as interações entre ciência, tecnologia e sociedade no contexto dos plásticos e sua relação com o meio ambiente.
Conceitos abordados	Estrutura e propriedade dos plásticos Reciclagem
Recursos	Experimentação
Fenômenos estudados	Produção de plásticos Descarte de plásticos Impactos ambientais relacionado aos plásticos
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Apresenta
Explicação do conteúdo	Apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Apresenta
Conteúdo CTS	C: Estrutura e propriedades dos plásticos T: Soluções químicas sustentáveis e ecológicas, desenvolvimento de materiais biodegradáveis, processos de reciclagem e métodos de produção S: Consequências ambientais da produção, utilização e descarte de plásticos, poluição do ambiente, efeitos nocivos à fauna e flora.

APÊNDICE 15

SD do Participante LQ-09: [Química Ambiental]

Tema	Química Ambiental - Explorando a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade no contexto das questões ambientais.
Questão sociocientífica	Não apresenta
Interdisciplinaridade	Não apresenta
Duração	Quatro a seis semanas
Objetivos	Compreender a relação entre a química e as questões ambientais. Identificar como a ciência e a tecnologia influenciam a sociedade e o meio ambiente. Desenvolver uma consciência crítica sobre o impacto das ações humanas no ambiente.
Estrutura	1. Contextualização e problematização (1-2 aulas): - Apresentar aos alunos a temática da química ambiental e a importância da Educação CTS no entendimento das questões ambientais. - Promover uma discussão sobre as principais questões ambientais enfrentadas atualmente (poluição do ar, água, solo, mudanças climáticas, etc.) e seus impactos na sociedade e no ecossistema. - Levantar hipóteses e questionamentos sobre como a ciência e a tecnologia estão relacionadas a essas questões e como podem ser solucionadoras de problemas. 2. Investigação científica (2-3 aulas): - Dividir os alunos em grupos para pesquisar sobre diferentes tópicos de química ambiental, como: poluição atmosférica, tratamento de água, reciclagem de resíduos, energias renováveis, entre outros. - Incentivar a pesquisa em fontes confiáveis, como artigos científicos, relatórios governamentais e organizações ambientais. - Os grupos devem apresentar suas descobertas e os impactos sociais e ambientais relacionados a cada tópico pesquisado. 3. Tecnologia e inovação para o meio ambiente (2 aulas): - Discutir o papel da tecnologia e da inovação na busca por soluções sustentáveis para as questões ambientais. - Apresentar exemplos de tecnologias limpas e práticas sustentáveis que estão sendo aplicadas na atualidade. - Propor atividades práticas em que os alunos possam desenvolver ideias e projetos de tecnologias voltadas para a preservação ambiental. 4. Conexão com a sociedade (2 aulas): - Promover uma reflexão sobre como as escolhas individuais e coletivas impactam o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas. - Debater o papel da educação ambiental na conscientização e na formação de cidadãos responsáveis e comprometidos com o futuro do planeta. - Propor ações e projetos que envolvam a comunidade escolar na busca por soluções ambientalmente sustentáveis.

	5. Avaliação e conclusão (1 aula): - Realizar uma avaliação da SD por meio de discussões em grupo, debates, apresentações, produção de textos reflexivos, entre outros. - Revisar os principais conceitos trabalhados ao longo da sequência e reforçar a importância da relação entre a química, a sociedade e o meio ambiente. - Encorajar os alunos a compartilhar suas aprendizagens com a comunidade escolar e familiar, visando disseminar o conhecimento adquirido.
Conceitos abordados	Poluição atmosférica Tratamento de água Reciclagem de resíduos Energias renováveis
Recursos	Pesquisa
Fenômenos estudados	Poluição do ar Poluição da água Poluição do solo Mudanças climáticas
Atividades interdisciplinares	Não apresenta
Conteúdo interdisciplinar	Não apresenta
Ensino por investigação	Apresenta
Explicação do conteúdo	Não apresenta
Descrição de como o conteúdo será trabalhado	Não apresenta
Conteúdo CTS	C: Química ambiental T: Desenvolvimento de energias renováveis S: Impactos ambientais causados por diferentes poluições

APÊNDICE 16

Análise estrutural das Sequências Didáticas

SD-LQ-02			
Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Introduzir conceitos básicos de eletroquímica e ensinar reações de oxidação e redução	Procedimental conceitual porque evidencia a transmissão de um conteúdo como um fim em si mesmo	Baixa Coerência, pois prioriza o acúmulo de fatos isolados do problema.
Atividade	1- Identificar e trabalhar as possíveis dificuldades que os alunos possam[...] 2- Revisão de modelos atômicos [...] 3- Leitura de notícia sobre viaduto (relacionado ao tema). 4- Apresentação do experimento pronto com pregos. 5-Aula expositiva de NOx 6- Gincana no Kahoot	Atividades 1, 2 e 5 conteudistas sem interação Atividades 3 e 4 são demonstrativas Atividade 6 memorização	Incoerente, pois transforma o tema em um "quiz" factual.
Recurso	Notícia, experimento demonstrativo e Kahoot	Ilustrativo	
Avaliação	Kahoot	Memorização	

SD-LQ-04			
Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Compreender a organização, estrutura e propriedades periódicas dos elementos.	Conceitual	Nula, pois não há conexão com problemas sociais ou tomada de decisão.
Atividade	1- Histórico e organização da tabela[...] 2- Estudo de raios e eletronegatividade 3- Pesquisa sobre elementos de transição. 4- Exercícios de fixação	Atividades 1 a 3 transmissão-recepção de conteúdo Atividade 4 fixação Atividade 5 memorização	Incoerente, pois o estudante não precisa raciocinar sobre o impacto do conhecimento na sociedade.

	5- Bingo da Tabela e prova.		
Recurso	Tabela periódica, exercícios e bingo.	Informativo	
Avaliação	Prova teórica	Memorização	

SD-LQ-05

Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Apresentar conceitos fundamentais: estrutura do carbono, grupos funcionais e nomenclatura.	Procedimental porque não prevê a construção conceitual	Baixa Coerência, pois a resolução é mecânica e não exige posicionamento crítico.
Atividade	1- Aula expositiva com slides sobre hibridização e cadeias. 2- Identificação de grupos funcionais. 3- Experimento de cromatografia em papel. 4- Resolução de lista de problemas.	Atividades 1 e 2 são de recepção Atividades 3 ilustrativa Atividade 4 memorização	Baixa Coerência, dependendo do nível de profundidade e mediação do debate.
Recurso	Slides, projetor e experimento	Representativo	
Avaliação	Resolução de exercícios e participação em debates.	Memorização	

SD-LQ-06

Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Ensinar a proteção de metais contra corrosão e o papel do metal de sacrifício.	Funcional e técnico; foco na aplicação de uma lei química.	Baixa Coerência, pois o raciocínio é guiado para uma única resposta correta.
Atividade	1- Análise de imagem de navio oxidado. 2- Discussão sobre formas de proteção (pintura). 3- Interpretação de	Atividade 1 e 2 apresentam relação de contextualização. Atividade 3 e 4 são representativas	Incoerente, pois trata a tecnologia como uma solução técnica fechada.

	experimento pronto com diferentes metais. 4- Uso da tabela de potencial de redução.		
Recurso	Imagens e Experimento	Representativo	
Avaliação	Identificação de metais.	Interpretativo	

SD-LQ-07

Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Ensinar a relação entre poluição e química, focando na consciência social e ambiental.	Procedimental porque não prevê a construção conceitual	Média Coerência, pois estimula a autonomia.
Atividade	1- Introdução e levantamento de conhecimentos prévios. 2- Aula teórica sobre emissões gasosas. 3- Experimento da bexiga com vinagre e bicarbonato (analogia). 4- Discussão em grupos.	Atividades 1 e 2 apresentam contextualização temática. Atividade 3 é lúdico-analógica (simulação fenomênica). Atividade 4 é reflexiva.	Coerente, pois busca a construção de um modelo mental explicativo.
Recurso	Experimento	Representativo	
Avaliação	Execução do experimento	Procedimental/Descritivo	

SD-LQ-08

Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Compreender a estrutura dos plásticos e investigar alternativas sustentáveis e impactos ambientais.	Investigativo	Coerente, pois o aluno precisa raciocinar sobre o tema.
Atividade	1- Explanação sobre a tríade CTS. 2- Estudo da estrutura de polímeros.	Atividades 1 sem relação conteúdo Atividade 2 conceitual	Média coerência

	3- Investigação de materiais biodegradáveis. 4- Experimento de longa duração (compostagem). 5- Campanha de conscientização.	Atividade 3 e 4 investigativa Atividade 5 é de ação social.	
Recurso	Experimento	Evidência de reação química	
Avaliação	Apresentação de projetos	Formativo	

SD-LQ-09			
Elemento da SD	Descrição	Indicadores	Coerência com SD/CTS
Objetivo	Identificar como a ciência e tecnologia influenciam a sociedade e o meio ambiente.	Procedimental porque não prevê a construção conceitual	Baixa coerência
Atividade	1- Discussão sobre questões ambientais atuais. 2- Pesquisa em grupos sobre tópicos diversos (água, solo, ar). 3- Proposição de projetos de tecnologias limpas. 4- Debate sobre ações individuais e coletivas.	Atividade 1 ampla e indeterminada Atividade 2 informativa Atividade 3 construção Atividade 4 reflexiva	Média Coerência, pois estimula a autonomia, mas pode cair no mero resumo.
Recurso	Pesquisa	Informativo	
Avaliação	Apresentação	Descritivo	

APÊNDICE 17

Análise da coerência interna das Sequências Didáticas

SD-LQ-02		
Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Introduzir conceitos básicos de eletroquímica [...] reações de oxirredução [...] revisão do modelo atômico de Bohr, ligações químicas, balanceamento e tabela periódica."</i>	O conteúdo científico é explicitado de forma densa e clara, porém de maneira fragmentada e propedêutica na Aula 1.
Modelos	<i>"Colocar um prego em cada garrafinha com soluções diferentes [...] conteúdo passado na lousa em forma de esquema."</i>	O modelo experimental e o esquema na lousa possuem função descritiva e representativa . Não há evidência de uso interpretativo para explicar a dinâmica da transferência de elétrons no fenômeno real.
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Será lido e discutido a notícia sobre corrosão do viaduto [...] perguntado se realmente é o ácido que corrói a estrutura."</i>	Existe contextualização, mas o fenômeno do viaduto atua como contexto ilustrativo . A ciência é usada para validar uma explicação técnica, sem mobilizar o conteúdo para a tomada de decisão social.

SD-LQ-04		
Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Compreender a organização, estrutura e propriedades periódicas dos elementos [...] histórico da Tabela Periódica, períodos e grupos, raios atômicos, eletronegatividade."</i>	O conteúdo científico é explicitado de forma clara e exhaustiva, focando na organização lógica e histórica da disciplina.
Modelos	<i>"Pesquisa sobre elementos de transição e suas aplicações [...] Bingo da Tabela Periódica [...] exercícios de fixação."</i>	Não há evidência de uso de modelos representativos ou explicativos. O Bingo e a Tabela cumprem uma função puramente descritiva e de identificação nominal.

Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Atividade de pesquisa sobre as propriedades de elementos em situações cotidianas."</i>	A contextualização é ilustrativa . O "cotidiano" entra como um repositório de exemplos para o conteúdo, mas não há um fenômeno real que mobilize a química para explicação ou decisão.
--	--	---

SD-LQ-05

Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Apresentar aos alunos os conceitos fundamentais da química orgânica, incluindo a estrutura do átomo de carbono, grupos funcionais e nomenclatura."</i>	O conteúdo está claramente definido no objetivo, focando em bases estruturais e regras de representação da química orgânica.
Modelos	<i>"Utilizar recursos visuais, como estruturas moleculares e esquemas, para ilustrar os conceitos abordados [...] técnica de cromatografia em papel."</i>	Os esquemas e estruturas possuem função representativa e descritiva . O experimento de cromatografia serve para visualização (descrição), sem indícios de uso interpretativo ou explicativo.
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Contextualizar a importância dos compostos orgânicos na sociedade, mencionando exemplos de aplicação, como medicamentos, plásticos e combustíveis."</i>	A articulação ocorre por meio de exemplos, caracterizando um contexto ilustrativo . A Química Orgânica é apresentada como a base de produtos, mas os problemas sociais desses produtos não são articulados ao conteúdo.

SD-LQ-06

Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Processos de oxidação e redução [...] número de oxidação, potencial de redução/oxidação, DDP."</i>	O conteúdo científico está muito claro e centralizado na aplicação de leis da eletroquímica.

Modelos	<i>"Análise de uma imagem de um navio que sofreu oxidação [...] levar um experimento pronto e solicitar ajuda para interpretar os resultados."</i>	O uso da imagem e do experimento cumpre uma função interpretativa inicial. No entanto, o modelo final é descritivo , pois serve apenas para comprovar a tabela de potenciais de redução.
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Iniciar discussão a respeito da oxidação [...] no caso deste navio, o processo de formação da ferrugem."</i>	Há articulação direta, mas o fenômeno é utilizado para explicar uma solução tecnológica pronta. Falta articulação com os impactos sociais ou econômicos (S).

SD-LQ-07

Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Reações químicas, força dos ácidos, molaridade, pH, reações de combustão."</i>	Os conteúdos são citados, mas a relação entre eles (ex: combustão e pH) não fica clara no planejamento da atividade prática.
Modelos	<i>"Experimento simples utilizando materiais cotidianos (bexiga, vinagre e bicarbonato) [...] visualizar as reações químicas."</i>	O modelo é puramente analógico e descritivo . Há o risco de confusão conceitual, pois o modelo (ácido-base) não representa fielmente o fenômeno real (combustão/emissões).
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Comparação com a poluição atmosférica em grande escala [...] ocorre em paralelo com a poluição por combustíveis fósseis."</i>	A contextualização é tentada, mas a articulação é frágil pela falta de correspondência direta entre o conteúdo mobilizado na prática e o fenômeno discutido.

SD-LQ-08

Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Estrutura e propriedades dos plásticos [...] materiais biodegradáveis e compostáveis (PLA, PHA)."</i>	O conteúdo é apresentado com clareza e relacionado a uma área específica da química (polímeros).

Modelos	<i>"Realização de experimento em laboratório para explorar a degradação [...] investigação dos métodos de produção."</i>	O modelo experimental de longa duração cumpre uma função explicativa e interpretativa . Permite ao aluno construir uma representação da durabilidade química dos materiais.
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Impactos ambientais dos plásticos no cotidiano [...] poluição dos oceanos e seus efeitos na fauna e flora."</i>	Existe uma forte articulação entre o conteúdo e o fenômeno. O contexto não é apenas ilustrativo; ele é o objeto da investigação científica .

SD-LQ-09

Critério	Evidência	Análise
Conteúdo científico escolar	<i>"Poluição atmosférica, tratamento de água, reciclagem de resíduos, energias renováveis."</i>	O conteúdo é vasto, mas não está claro quais bases conceituais químicas específicas (equações, reações, estequiometria) serão desenvolvidas em cada tópico.
Modelos	<i>"Pesquisa em fontes confiáveis [...] desenvolver ideias e projetos de tecnologias voltadas para a preservação."</i>	O uso de modelos aparece na função representativa (nos projetos dos alunos). Contudo, no texto da SD, não há indicação de modelos teóricos químicos para explicar os poluentes.
Articulação entre conteúdo e fenômeno	<i>"Discussão sobre as principais questões ambientais enfrentadas atualmente [...] reflexão sobre escolhas individuais e coletivas."</i>	A contextualização é o eixo central, mas ocorre uma falta de contexto químico profundo , soando mais como um debate ambiental geral do que como uma aula de Química.

APÊNDICE 18

Dados extraídos do Currículo para elaboração do Modelo Curricular

Currículo Referência de Minas Gerais		
Habilidade	Unidad temática	Objeto de conocimiento
(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.	Matéria e Energia/ Materia y energía	BIOLOGIA Fluxo de matéria e energia nos ecossistemas; Cadeia alimentar e teia alimentar; Metabolismo celular(fotossíntese, Respiração celular, fermentação)
		QUÍMICA Transformações físicas e químicas; conceito e representação das reações químicas; Leis ponderais; quantidade de matéria e suas relações; constituição da matéria; Simbologia do átomo; estequiometria; fluxo de energia e de matéria no ecossistema; sistemas abertos e fechados; termoquímica; entalpia; combustíveis: tipos, consumo, recursos e meios alternativos.
BIOLOGIA Consequências e benefícios do uso da radiação; Consequências biológicas das radiações ionizantes; Mutações.		
QUÍMICA Estrutura do átomo; Diferença de fissão e fusão; elementos radioativos - tabela periódica; radiações ionizantes e não ionizantes; equipamentos de produção e emissão de radiação e suas implicações; história da radioatividade.		
BIOLOGIA Descarte e tratamento de resíduos; Bioacumulação e biomagnificação trófica.		
QUÍMICA Toxicidade e reatividade de substâncias químicas; poluição em água e solo e tecnologias empregadas como soluções; Propriedades periódicas aplicados		
(EM13CNT103X) Conhecer e analisar os tipos de radiação e suas origens, para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia.		
(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.		

		no contexto ambiental; descarte e tratamento inadequado; ligações e interações químicas; geometria molecular; radioatividade e raios gama; noções básicas de laboratório; polaridade das moléculas; propriedades dos compostos inorgânicos e nomenclatura;
(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.		BIOLOGIA Ciclos biogeoquímicos; Poluição do solo, do ar e da água; Camada de ozônio. QUÍMICA Ciclo Biogeoquímico - carbono, nitrogênio, oxigênio e fósforo; agentes poluidores da água, ar e solo; camada de ozônio; chuva ácida; descarte inadequado de resíduos sólidos; parâmetros de qualidade da água, ar e solo; petróleo; equilíbrio químico.
(EM13CNT107X) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre as ações de agentes cujos funcionamentos estão relacionados ao eletromagnetismo (geradores de energia; biogestores; motores elétricos e seus componentes; bobinas; transformadores; pilhas; baterias; fontes alternativas de energia; bioeletricidade; dispositivos eletrônicos; etc.), com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, para propor ações que visem a sustentabilidade, discutindo acerca dos subprodutos que a tecnologia gera e propondo ações para minimizar seus impactos.		BIOLOGIA Importância do consumo consciente e suas consequências; Reciclagem; Coleta seletiva; Descarte de resíduos sólidos.
(EM13CNT202X) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, tanto na Terra quanto em outros planetas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais.	Vida, Terra e Cosmos/ Vida, Tierra y Cosmos	BIOLOGIA Composição e organização dos seres vivos; Teoria Celular; Divisão celular (mitose e meiose); Fundamentos de ecologia; Pirâmides ecológicas QUÍMICA Ligações químicas e interações entre partículas; equilíbrio

		químico; composição, dinâmica e evolução da atmosfera terrestre;
(EM13CNT203X) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais.		BIOLOGIA Introdução a Ecologia; Unidades de conservação; Fluxo de matéria e de energia nos ecossistemas; Radiações e seus efeitos em seres vivos.
		QUÍMICA Soluções e relações de concentração; termoquímica; descarte inadequado de resíduos; tipos de radiações e suas implicações na vida;
(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.		BIOLOGIA Problemas ambientais mundiais e políticas ambientais para a sustentabilidade; Agentes mutagênicos
		QUÍMICA Química ambiental; parâmetros quantitativos e qualitativos da qualidade do ar, solo e água; escala de pH e pOH; problemas ambientais mundiais, nacionais e regionais.
(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.		BIOLOGIA Evolução dos seres vivos; Bioquímica: aminoácidos, proteínas, enzimas, estrutura do DNA e RNA
		QUÍMICA Interações intermoleculares; bioquímica: aminoácidos, proteínas, DNA e RNA, enzimas, lipídeos, carboidratos; química dos alimentos; polímeros;
(EM13CNT210MG) Reconhecer as leis da natureza, identificar suas ocorrências, avaliar suas aplicações em processos tecnológicos e elaborar hipóteses de procedimentos para a exploração do Cosmos e do planeta Terra.		QUÍMICA Transformações físicas e químicas; reações químicas; leis ponderais; estequiometria; aplicação industrial de diversas áreas;
(EM13CNT211MG) Analisar e discutir os processos que alteram as propriedades coligativas em especial as que interferem no transporte por membrana celular, na		BIOLOGIA Transportes por membrana celular

temperatura e pressão de líquidos e gases.		
(EM13CNT212MG) Identificar e relacionar as leis da natureza e os fenômenos relacionados às ondas eletromagnéticas, em especial o espectro visível, com eventos naturais e tecnológicos, elencando-os com os órgãos dos sentidos e com as artes, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de tecnologias de informação e comunicação.		QUÍMICA Efeito da interação das radiações sobre a matéria; isômeros e tipos de isomerias.
(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.		BIOLOGIA Poluição do solo; Poluição do ar; Poluição da água; Medidas de Preservação Ambiental
(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.	Tecnologias e Linguagens/Tecnologias e Linguagens	QUÍMICA Comunicação e argumentação com base em conhecimentos científicos sobre questões: âmbito regional, fake news, mineração, homeopatia e alopatia, entre outros.
(EM13CNT306X) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos, conhecer as normas de segurança, o tratamento de resíduos e reconhecer os equipamentos de proteção		BIOLOGIA Sustentabilidade; Unidades de conservação; Biomas e sua biodiversidade; Impactos ambientais gerados pelo uso inadequado dos biomas brasileiros.
		QUÍMICA Propriedades físico-químicas de novos materiais como grafeno; uso de novas tecnologias com objetivos sustentáveis.
		BIOLOGIA Poluição (atmosférica, sonora e visual) e contaminação; Sistemas respiratório, cardiovascular e digestório.

individual e coletivo, inclusive a tecnologia aplicada nos mesmos.		QUÍMICA Equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC). Ações de segurança e descarte adequado de materiais, resíduos, substâncias nocivas e tóxicas produzidas em ambientes de trabalho e/ou laboratórios químicos.
(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas, tecnológicas, entre outras) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.		BIOLOGIA Biofábricas e bioprodutos; Nanomateriais e Nanotecnologia; Tecnologias do DNA: DNA recombinante
(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.		QUÍMICA Materiais (propriedades físico-químicas, estruturas, composições, características, toxicidade). Produção e aplicação (ferro-gusa, cobre, cal, alumínio, aço, soda cáustica, hipoclorito de sódio, polímeros, amônia).
(EM13CNT310X) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida no âmbito social, familiar, cultural e econômico.		BIOLOGIA Uso e descarte consciente de equipamentos eletrônicos; Descarte consciente de pilhas e baterias. QUÍMICA Química ambiental, descarte consciente, substâncias e ações sustentáveis.
		QUÍMICA Misturas e separação de misturas; Tratamento de água e esgoto; impacto social, ambiental, político e ambiental das usinas: elétricas, termelétrica, eólica, nucleares, entre outras; técnica de produção de vacinas: rendimento e custo; técnicas laboratoriais de análises de qualidade: alimentos, vacinas, remédios; compostos orgânicos e reações; macromoléculas;

(EM13CNT313MG) Analisar as características físico-químicas dos grupos de microrganismos existentes, bem como discutir a importância desses seres para o meio ambiente, indústria e saúde. Identificar aqueles que são causadores de doenças, discutindo métodos de detecção e prevenção e tratamento para as mesmas.		BIOLOGIA • Microbiologia: Vírus, bactérias, fungos e protozoários; Doenças regionais e mundiais associadas a esses grupos de seres vivos; Importância ecológica das bactérias, dos fungos e protozoários para o meio ambiente.
Base Nacional Comum Curricular		
Competência específica		Habilidade
Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.		(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica
		(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.
Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis./		(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).
		(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.
		(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).	(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
	(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.
	(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista./
	(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.
	(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

APÊNDICE 19

Elaboração das relações causa-efeito do MEI

E1	relación	E2	Efecto	Relación causa-efecto	Si... entonces
Plástico	em contato	ácido estomacal	-	-	-
Microplástico	en contacto con	sangre y cerebro	daña el cuerpo humano	El microplástico en contacto con la sangre llega al cerebro	Si el microplástico entra en contacto con la sangre entonces llega al cerebro
Microplástico	en contacto con	el cuerpo	causa infarto	El microplástico en contacto con el cuerpo causa infarto	Si el microplástico entra en contacto con el cuerpo entonces causa infarto
Microplástico	acumulan en	estomago	causa inflamación	El microplástico acumulan en estomago y causa inflamación	Si el microplástico acumulan en estomago entonces causa inflamación
Microplástico	en contacto con	ácido estomacal	sensibiliza el estómago	El microplástico en contacto con ácido del estómago sensibiliza el estómago	Si microplástico entra en contacto con ácido del estómago entonces sensibiliza el estómago
Microplástico	en contacto con	ácido estomacal	expelidos del cuerpo humano	Los microplásticos en contacto con el ácido del estómago son expulsados del cuerpo humano	Si los microplásticos entran en contacto con el ácido del estómago entonces son expulsados del cuerpo humano
Microplástico	acumula en	corazón	parada cardíaca	Los microplásticos acumulan en el corazón y causan parada cardíaca	Si los microplásticos acumulan en el corazón entonces causa parada cardíaca
Microplástico	acumulan en	estómago	vómito	Los microplásticos acumulan en el estómago y causan vómito	Si los microplásticos acumulan en el estómago entonces causan vómito
resíduos	interactua	paredes do esôfago, gargante e tiroide	-	-	-
Polímeros plásticos	en contacto con	ácido del estómago	dolor y azia	Los polímeros plásticos en contacto con el ácido del estómago provocan dolor y acidez estomacal.	Si los polímeros plásticos entran en contacto con ácido del estómago entonces causa dolor y acidez estomacal

Partículas	interactua	ácido do estômago	-	-	-
Microplástico	em contato	corpo humano	problemas de saúde	Los microplásticos en contacto con el cuerpo humano causa problemas de salud	Si los microplásticos entran en contacto con el cuerpo humano entonces causa problemas de salud
Microplástico	en contacto con	ácido del estómago	acidez estomacal	Los microplásticos en contacto con ácido del estómago causa acidez estomacal	Si los microplásticos entran en contacto con ácido del estómago entonces causa acidez estomacal
plástico	intetactua	esôfago	dores e doenças	Quando o plástico interactua no esôfago causa dores e doenças	Se o plástico interactua no esôfago, então causa dores e doenças
-	-	-	dor no estômago	-	-
-	-	corpo humano	-	-	-
corpo humano	-	-	partículas	-	-
Microplástico	acumula en	estômago	sistema digestório	Los microplásticos acumulan en estómago y afectan sistema digestorio	Si los microplásticos acumulan en estómago entonces afectan el sistema digestorio
resíduos ?	interaje	estômago	vômitos e diarreias	-	-
Residuos	acumulan en	estômago	prejudica ndo o sistema digestório	Los residuos acumulan en estómago y perjudica el sistema digestorio	Si los residuos acumulan en estómago entonces perjudica el sistema digestorio
microorganismos	acumula no	corpo	-	-	-
-	acumula no	estômago	-	-	-
-	acumula no	intestino	-	-	-

APÊNDICE 20

Datos del Instrumento de Coleta de Dados: Identificação do Modelo Estudantil Inicial

Participante	1. La exposición prolongada de los polímeros plásticos al clima - sol, viento, lluvia - , bajo la acción principal de la radiación ultravioleta, comúnmente genera transformaciones en este material. El escenario muestra envases compuestos principalmente por polímeros de poliestireno y desechados en el medio ambiente. ¿Qué crees que pasará con estos polímeros en estas condiciones durante un período de años?	Proceso de... (faço isso para saber se reconhecem o proceso de degradación do polímero plástico que é condição para a bioacumulação). Se reconhecem também se que o instrumento tá bom.	Interpretación de la respuesta para la pregunta 1.	E1	relación	E2	Efecto	Relación causa-efecto	Si... entonces..
--------------	--	---	--	----	----------	----	--------	-----------------------	------------------

BO E_1	A garrafa de plástico quando em muito tempo na água, por influência do meio, o dejetos se degrada e libera partículas de plásticos na água poluindo o local e, consequentemente, afeta a biodiversidade local.	Plástico degrada em partículas de plástico	Plástico em contato com água e por influência do meio degrada e libera partículas de plástico e afeta a biodiversidade local.	Garrafa de plástico	em contato	água	liberação de partículas de plástico	Plástico em contato com a água provoca a liberação de partículas de plástico.	Si plástico está em contato con el agua entonces ocurre la liberación de partículas de plástico.
				Garrafa de plástico	exposto em	meio ambiente	liberação de partículas de plástico	Plástico exposto em medio ambiente provoca la liberación de partículas de plástico	Si plástico está expuesto en medio ambiente entonces ocurre la liberación de partículas de plástico.
BO E_2	Os nanoplásticos são extremamente prejudiciais para a vida humana e vida animal, sendo muito poluente e corrosiva. Um plástico demora para se decompor muitos anos, no oceano muitos animais marinhos sofrem com os nanoplásticos, ingerindo lixo, tartarugas ficando presas e morrendo com esses	Plástico se decompõe em nanoplástico.	Plástico demora para decompor, são poluentes. Animais marinhos ingerem nanoplásticos, tartarugas ficam presas. Plásticos não se dissolvem em água. nanoplásticos são prejudicial para	Plástico	-	-	Nanoplástico	-	-

	lixos que não dissolvidos no mar.		vida humana.						
BO E_3	Os polímeros plásticos irão começar a se degradarem, porque o contato de água com os polímeros plásticos provocam algumas reações que decompõem o plástico.	Polímero plástico se degrada.	Polímeros plásticos em contato com água degrada devido a algumas reações.	Polímero plástico	em contacto com	água	reações	Polímero plástico em contacto con el agua provoca reacciones.	Si polímero plástico está en contacto con el agua entonces ocurre reacciones.
BO E_4	Devido ao passar do tempo o plástico vai se degradando, se tornando nanoplasticos, invisível a olho nu, que tem o risco de ser consumido involuntariamente por meios das vias respiratórias. Isso ocorre pois o plástico tem um "prazo de validade", e após o tempo estimado, o material não desaparece completamente, deixando partículas no ambiente. Na água, o microplásticos fica "vagando" devido à corrente,	Plástico se degrada em nanoplastico.	Plástico degrada em nanoplastico. Pode ser inalado. Os microplásticos ficam na água e são consumidos por animais marinhos e seres humanos.	Plástico	-	-	Nanoplastico	-	

	sendo consumido por peixes, animais marinhos ou humanos, isso ocorre pela poluição dos oceanos e o descarte indevido de materiais plástico.								
BO E_5	Ocorreu que a garrafa entrou em decomposição se transformando em nanoplasticos e microplásticos, fazendo assim com que os animais marinhos comam por engano, poluindo assim também as águas.	Garrafa se decompõe em micro e nanoplastico.	Garrafa se decompõe transformando em nano e microplásticos que servem de alimentos para os animais marinhos e poluem as águas.	Garrafa	-	-	micro e nanoplastico	-	
BO E_6	Os polímeros plásticos de poliestireno, ao serem expostos por muito tempo a condições climáticas e raios UV, faz com que as ligações estruturais do plásticos enfraqueçam e se rompam, fazendo o plástico se dividir em partes.	Polímero plástico de poliestireno se fragmenta em partes.	Polímeros plásticos de poliestireno exposto al clima e a raios UV provoca rompimento das ligações estruturais do plástico e causa divisão do plástico em partes	Polímero plástico de poliestireno	expuesto al	clima y rayos ultravioleta	Plástico fragmentado	Polímero plástico de poliestireno expuesto al clima y a los rayos UV forma plástico fragmentado	Si polímero plástico de poliestireno está expuesto al clima y las rayos UV entonces forma plástico fragmentado.

BO E_7	Ao decorrer dos anos, o plástico vai se decompondo em nano plásticos e se dissipando no meio, instalando-se na água e no solo. Como consequência os animais presentes no meio, podem eventualmente ingerir essas partículas, além de contaminar e empobrecer o solo.	Plástico se decompõe em nanoplástico.	Plástico se decompõe em nanoplástico, se dissipa em meio e queda-se em água e solo. Animais ingerem as partículas que contaminam e empobrece o solo.	Plástico	-	-	Partículas	-	-
BO E_8	Enquanto o tempo passa, o plástico vai se decompondo e afetando tanto a água quanto todo o meio ambiente podendo também matar alguns seres vivos já que com a degradação do nanoplástico ele solta substâncias tóxicas podendo ser ingeridas pelos seres vivos e dessa forma os matando.	Plástico se degrada em nanoplástico.	Plástico se decompõe e afeta a água e o meio ambiente. A degradação do plástico em nanoplástico solta substâncias tóxicas que pode ser ingeridas pelos seres vivos.	Plástico	-	Nanoplástico	Sustâncias tóxicas	-	-

BO E_9	Os polímeros plástico fica exposto a diversas reações químicas, as quais decompõe o plástico em nanoplasticos, os quais são invisível a olho nu e gera diversas consequências negativas no meio ambiente.	Polímero plástico se decompõe em nanoplastico	Polímeros plástico exposto a reações químicas decompõe em nanoplastico causando consequências no meio ambiente.	Polímero plástico	expuesto a	Reacciones químicas	Nanoplastico	Polímero plástico expuesto a reacciones químicas forma nanoplasticos	Si polímero plástico está expuesto a reacciones químicas entonces forma nanoplastico.
BO E_10	Se degradou através dos fatores naturais (ex: chuva) e as condições ambientais, além disso, através dessa degradação, partículas de microplástico são liberadas no lago, afetando a biodiversidade presente no local.	Polímero plástico se degrada em microplástico.	(Polímero plástico) exposto a condições ambientais degrada em partículas de microplásticos que são liberadas na água.	Polímero plástico	expuesto al	clima	Partículas de microplásticos	Polímero plástico expuesto al clima forma partículas de microplástico	Si polímero plástico está expuesto al clima entonces forma partículas de microplástico.

BO E_1 1	Se decompõe em microplásticos e nanoplásticos devido a exposição e as condições climáticas. Após isso, os animais marinhos podem consumi-los por engano e acabarem morrendo.	Polímero plástico se decompõe em micro e nanoplástico.	(Polímero plástico) exposto a condições climáticas se decompõe em microplásticos que podem ser consumidos por animais marinhos.	Polímero plástico	expuesto al	clima	Microplásticos	Polímero plástico expuesto al clima forma microplástico	Si polímero plástico está expuesto al clima entonces forma microplástico.
BO E_1 2	Alongo dos anos, a garrafa pet vai se dissolver dentro do oceano virando os nanoplásticos, poluindo o meio ambiente, por causa da demora da decomposição do plástico.	Garrafa PET se dissolve em nanoplástico.	Garrafa pet em contato com oceano se dissolve e se transforma em nanoplásticos poluindo o meio ambiente.	PET	en contacto con	océano	Nanoplástico	PET en contacto con el océano forma nanoplásticos	Si PET está en contacto con el oceano entonces forma nanoplásticos.

BO E_1 3	Essas embalagens são compostos de plásticos do tipo poliestireno, ou seja, pequenas partículas de plástico. Sendo assim, ao longo de vários anos, essas partículas não desaparecem, elas vão se dividindo, isto é, a embalagem vai se degradando e estas partículas são liberadas (cadeias carbônicas), as quais podem ser substâncias tóxicas.	Plástico de poliestireno se degrada.	Plástico de poliestireno é formado de pequenas partículas de plástico que não desaparecem e vão se dividindo. Polímero plástico de poliestireno e degrada e são liberadas partículas menores que são tóxicas.	Poliestireno	-	Partículas de plástico	Sustâncias tóxicas	-	-
BO E_1 4	Quando objetos de plásticos são descartados no ambiente, eles contribuem para a contaminação e poluição do ambiente. Tais objetos levam séculos para se decompor, por serem feitos de plástico, os chamados nanoplásticos. Ao longo do tempo o meio ambiente pode absorver os nanoplásticos ou podem ser ingeridos por animais e até mesmo pelo ser humano.	Plástico se decompõe em nanoplástico.	Plástico se decompõe em nanoplástico que pode ser ingeridos por animais e seres humanos.	Plástico	-	-	Nanoplástico	-	-

BO E_1 5	Ao longo dos anos, o poliestireno se fragmenta e se espalha para diferentes locais do rio, desse modo, os polímeros passam a afetar o local. Devido a estarem expostos a água e vai ocorrer o desgaste do material, o que acaba por leva-los a se fragmentar.	Poliestireno se fragmenta.	Poliestireno se fragmenta e se espalham para o meio ambiente. Poliestireno exposto a água e se fragmenta/desgasta.	Poliestireno	expuesto en	Agua	Material desgastado	Poliestireno expuesto en agua forma un material desgastado	Si poliestireno está expuesto en agua entonces forma un material desgastado.
BO E_1 6	A garrafa se decompõe fazendo que os polímeros de poliestireno afetem os peixes, já que eles sem querer consomem o plástico causando sua morte, pois é um veneno para eles.	Polímero plástico se decompõe.	Garrafa se decompõe e os polímeros de poliestireno afetam os peixes.	Polímero de poliestireno	-	-	-	-	-
BO E_1 7	Esses "resíduos" são carregados pela água e ingeridos por peixes, assim indo parar na casa das pessoas e conseqüentemente são ingeridos por elas. Os plásticos vão se degradando com o tempo se tornando pequenas partículas de plástico.	Plástico se degrada em pequenas partículas de plástico.	Os resíduos são carregados pela água e ingerido pelos peixes e pelos seres humanos. Os plásticos se degradam em pequenas partículas de	Plásticos	expuesto al	clima	partículas de plástico	Plástico expuesto al clima forma partículas de plástico	Si plástico está expuesto al clima entonces forma partículas de plástico.

			plástico.						
BOE_18	Os plásticos de poliestireno ao longo dos anos e com as constantes mudanças climáticas começa a se desfazer em microplásticos, ação ocorre pois os polímeros são um tipo de cadeia carbônica que com o desgaste pelo descarte indevido ocorre a formação do microplástico	Plástico de poliestireno se desfaz em microplástico.	Os plásticos de poliestireno exposto as mudanças climáticas se desfaz em microplásticos porque os polímeros são formados por uma cadeia carbonica que pelo desgaste forma microplástico	Plástico de poliestireno	expuesto al	clima	Microplástico	Plástico de poliestireno expuesto al clima forma microplástico	Si plástico de poliestireno está expuesto al clima entonces forma microplástico.

BOE_2_1	Quando produzido esse polímero plástico de polietileno tem como objetivo de durar muito tempo, como mostrado na primeira imagem quando jogamos fora ele vai para o mar demorando logos anos decompore	decompore	PPE dura muito e demora para decompore	polímero plástico de polietileno	-	-	-	-	-
---------	---	-----------	--	----------------------------------	---	---	---	---	---

BOE_2_2	Quando uma garrafa é jogada nos rios/mares, etc ela demora muitos anos para se decompor, demorando até mais de 400 anos, e isso atrapalha e muito a vida das pessoas e dos animais e também da biodiversidade, como plásticos que garra nas árvores, ou até mesmo em animais, que acaba sufocando eles, e também tem animais que confundem esses plásticos com alimentos, pode até mesmo matar esses animais, e também acabar com o desenvolvimento e capacidade deles. Afetando muito suas vidas e a vida do planeta.	(Polímero plástico de poliestireno) se decompõe	Quando a garrafa é jogada nos rios e mais demora muitos anos pra se decompor sendo prejudicial pros seres vivos.	Garrafa	-	-	-	-	-
BOE_2_3	Os polímeros são formados por ligações químicas, que ao sofrerem ação do tempo, corrente de água, luz solar, entre outros, desfizeram algumas das ligações químicas, dissolvendo o objeto como um todo ao longo do tempo	dissolvendo o objeto (plástico)	Os polímeros são dissolvidos porque as ligações químicas se desfazem	Polímero	expuesto a	luz solar	desfaz as ligações químicas	Os polímeros expuestos a luz solar tem suas ligações químicas desfeitas	Si os polímeros são expuestos a luz solar entonces as ligações químicas são desfeitas

BOE_2_4	O plástico dissolveu conforme o passar dos anos. Isso ocorre pelas condições climáticas e as radiações ultravioletas.	plástico dissolveu	Plástico dissolve com o passar dos anos, devido as condições climáticas e radiações ultravioletas.	Plástico	expuesto a	radiações ultravioletas	-	-	-
BOE_2_5	Após alguns anos esse plástico vai se decompondo e virando minipartículas de plásticos, fazendo com que os animais marinhos comem e morrem, ou, passam alguma doença para os seres vivos, também os plásticos causa poluição nos rios (mares, lagos)	plástico vai se decompondo em minipartículas	Com os anos o plástico vai se decompondo e virando minipartículas sendo prejudicial a vida marinha e poluindo a água	Plástico	-	-	minipartículas	-	-
BOE_2_6	Ele é deteriorado por microorganismos que vivem na água	(Polímero plástico de poliestireno) deteriora	Deterioração provocada por microorganismos que vivem na água	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	microorganismos	-	-	-

BOE_2_7	Ele se dissolveram na água, ocorre porque depois de muito tempo no oceano ele acaba se dissolve	(Polímero plástico de poliestireno) dissolve em água	(Polímero plástico de poliestireno) dissolveram na água depois de muito tempo	(Polímero plástico de poliestireno)	em contato	água	-	-	-
BOE_2_8	As embalagens que foram descartadas no local, ao longo dos anos foram se degradando e o que se tratara de um objetivo inteiro se transformou em partículas, moléculas de plástico ou qualquer outro material o qual tenha sido produzido. Resumidamente os polímeros se transformaram, no meio ambiente.	As embalagens (polímeros).... se degradando	As embalagens ao longo dos anos foram se degradando, o objetivo inteiro se transformou em partículas... ou seja, os polímeros se transformaram no meio ambiente.	Embalagens) (polímeros	-	-	partículas, moléculas de plásticos	-	-
BOE_2_9	As ligações entre as moléculas que compoem o polietileno são perdidas, transformando uma única estrutura de plástico em vários nanoplásticos, que podem ser prejudiciais à saúde na ingestão ou inalação	Polietileno se transformam	As ligações que compoem o polietileno são perdidas, e uma única estrutura de plástico se transforma em vários nanoplásticos que pode ser	polietileno	-	-	nanoplástico	-	-

			prejudicial a saúde						
BOE_2_10	Esses polímeros de polietileno após alguns anos, se "dissolve", isto ocorre porque além de ficar muito exposta a chuva, sol., ao passar dos anos vai se destruindo	polímeros de polietileno se dissolvem	Os polímero de polietileno com o passar dos anos, se dissolve, isso ocorre porque eles ficam expostos a chuva e sol.	polímero de polietieno	exposto	chuva e sol	-	-	-
BOE_2_11	Com o tempo o plástico começou a "decanta" ao tempo	plástico decanta	Com o tempo o plástico começou a decanta	plástico	-	-		-	-
BOE_2_12	Os polímeros plásticos de polietileno depois de ficarem muito tempo expostas as condições climáticas e especialmente aos raios UV se transformam em nanoplásticos	polímeros plástico de polietileno se transforma em nanoplásticos	Os polímeros plásticos de polietieno depois de muito tempo expostos a condições climáticas e especialmente aos raios UV se transformam em nanoplásticos	polímeros plásticos de polietieno	exposto	raios UV	nanoplásticos	Polímeros plásticos de polietileno expostos aos raios UV transformam-se em nanoplásticos	Se os polímeros plásticos são expostos a condições climáticas especialmente e raios UV então transforma-se em nanoplásticos

BOE_2_13	Os polimeros plasticos com o passar do tempo entram em decomposição, devido as condições que eles são expostos. O que claramente absorvendo pode-se notas que as ligações das partículas dos polímeros entram em de pasagem.	Polímeros plásticos se decompõem	Os polímeros plásticos com o passar do tempo entra em decomposição devido as condições em que são expostos, fazendo com que as ligações das partículas dos polímeros entrem em depasagem.	polímeros plásticos	exposto	-	-	-	-
BOE_2_14	Tais polimeros plásticos se degradam, em decorrência as ações climáticas, com chuva, altas temperaturas, ondas entre outros fatores	Polimeros plásticos se degradam	Os polímeros plásticos se degradam em decorrência de ações climáticas	Polímeros plásticos	expuesto a	ações climáticas (chuva, altas temperaturas, ondas)	-	-	-
BOE_2_15	Ao decorrer do tempo o plástico da garrafa se desgastou e começou a soltar partículas no meio do mar, reagindo as reações químicas	O plástico se desgastou	Com o decorrer do tempo o plástico se desgastou e soltou partículas no mar	Plástico	-	-	partículas	-	-

BOE_2_16	Pois quando o plástico fica determinado tempo embaixo da água, junta-se ao redor do plástico novas substâncias que alimenta os peixes.	O plástico	O plástico após muito tempo embaixo da água, junta-se ao seu redor novas substâncias que alimento os peixes	Plástico	em contato	água	novas substâncias	Plástico em contato com água se Transforma em novas substâncias	Se os plásticos ficam em contato com a água então se transformam em novas substâncias
BOE_2_17	Devido as altas ondas de radiação constantes, condições climáticas, e entre outros fatores, ocorrem reações químicas nos polimeros plásticos e causa uma degradação no plástico, o que faz com que ele "quebre" as ligações entre os átomos e se transforme em nano partículas de plástico de polietileno	Polímeros plásticos se degradam	Devido as altas ondas de radiação constantes e condições climáticas, ocorrem reações químicas nos polimeros plásticos e causa uma degradação no plástico, o que faz com que ele "quebre" as ligações entre os átomos e se transforme em nano partículas	Polímeros plásticos	expuesto a	radiações e condições climáticas	nano partículas de plástico	Polímeros plásticos expostos a radiações e condições climáticas se degradam em nano plásticos	Se os polímeros plásticos são expostos a radiações e condições climáticas então se transformam em nano plásticos

BOE_2_18	Os polímeros ao longo do tempo vão se degradando e se aglomerando com o terreno local, podendo causar uma contaminação	Polímeros se degradam	Com o tempo os polímeros se degradam e se aglomeram no terreno, causando contaminação	Polímeros	-	-	-	-	-
BOE_2_19	Ao decorrer dos anos esses plasticos vão cada vez mais se dissolvendo e cada vez mais indo matando os animais marinhos.	Plásticos se dissolvem	Ao decorrer dos anos o plástico vai se dissolvendo e mata os animais marinhos	Plástico	-	-	-	-	-
BOE_2_20	Ele se desolvem devido a exposição de raios ultravioletas	(Polímero plástico de poliestireno) se dissolve	Devido a exposição a raios ultravioletas os (Polímero plástico de poliestireno) se dissolvem	(Polímero plástico de poliestireno)	expostos	raios ultravioletas	-	-	-

BOE_2_21	Com o tempo eles vão se desintegrar, por vários motivos, como por exemplo, o desgaste do material, que no caso é causado pela água. Assim, vira um microplástico, podendo ser ingerido sem querer por outros seres vivos.	(Polímero plástico de poliestireno) se desintegra	Com o tempo o (Polímero plástico de poliestireno) se desintegra, devido ao desgaste do material causado pela água, irando um microplástico que pode ser ingerido por outros seres vivos	Material (Polímero plástico de poliestireno)	em contato	água	microplástico	O material em contato a água se desintegra em microplásticos	Se o material (Polímero plástico de poliestireno) está em contacto com a água então se desintegra em microplástico
BOE_2_22	Os polimeros após passarem um período residual na água exposto a radiação ultravioleta, chuvas e ventanias. acabam se transformando em microplasticos devido a uma alteração química	Polímeros se transformam	Os polímeros após determinado tempo na água e exposto a radiação ultravioleta, chuvas e ventanias se transformam em microplásticos devido a uma alteração química	polímeros	exposto	radiação UV	microplásticos	Polímeros expostos a radiação UV se transformam em microplásticos	Se os polímeros são expostos a radiação UV então se transformam em microplásticos
BOE_2_23	Com o passar dos anos esse plástico vai se fragmentando	Plástico se fragmenta	Com o passar dos anos o plástico se fragmenta	Plástico	-	-	(Partículas menores)	-	-

BOE_2_24	A garrafa começa a soltar partículas pois rompeu suas ligações químicas	Garrafa	A garrafa solta partículas pois rompeu suas ligações químicas	Garrafa	-	-	Partículas	-	-
----------	---	---------	---	---------	---	---	------------	---	---

BOE_1_1	Eles vão sumindo, por causa das bactérias que vão comendo o plástico	(Polímero plástico de poliestireno) vão sumindo (?)	Os (Polímero plástico de poliestireno) somem, por que as bacterias comem os plásticos	(Polímero plástico de poliestireno)	em contato	bactérias	-	-	-
BOE_1_2	Eles vão se degradando/fragmentando por causa de reações químicas que vão acontecendo e por causa da entropia.	(Polímero plástico de poliestireno) vão se degradando/fragmentando	Os (Polímero plástico de poliestireno) vão se degradando/fragmentando devido as reações químicas que acontecem e por causa da entropia	(Polímero plástico de poliestireno)	-	-	reação química e entropia	-	-

BOE_1_3	O plástico tem tendência de se dissolver com o passar do tempo, e vai se corroendo e poluindo o fundo seja do rio, mares e outras fontes de água. Os fatores que contriubuem para essa disolução e a densidade alta da água, o vento, os raios ultravioletas do sol. Os animais podem comer achando que é comida e acabar morrendo, muitos outros animais acabam ingerindo e comendo.	O plástico se dissolve	O plástico se dissolve com o passar do tempo e vai se corroendo e poluindo as fontes de água. Os fatores que contriubuem para essa dosolução é os raios ultravioletas e outros fatores. Os animais podem comer e acabar morrendo.	Plástico	exposto a	radiação ultravioleta	-		
BOE_1_4	Os polímeros plásticos de polietileno, os quais são descartados de forma incorreta no meio ambiente demora cerca de décadas para que ocorra transformações de decomposição. Ao longo de vários anos esse material e sua composição vão se decompondo e acabam permanecendo no local em que foi descartado.	Os polímeros plásticos de polietileno se decompõem	Os PPE são descartados de forma incorreta no meio ambiente e demora décadas para que ocorra transformação de decomposição. Ao longo de vários anos esse material se decompõe e permanece no local descartado.	Os polímeros plásticos de polietileno	-	-	-	-	-

BOE_1_5	Esses polímeros plásticos de poliestireno com o passar dos anos degradam na água por causa da exposição as mudanças climáticas que transformam o material em várias partículas que se mistura na água e permanecem na água que utilizamos no nosso cotidiano	Polímeros plásticos de poliestireno degradam	Com o passar dos anos o PPE degradam na água por causa da exposição as mudanças climáticas que transformam o material em várias partículas	Polímeros plásticos de poliestireno	exposto a	mudanças climáticas	partículas	Os polímeros plásticos de poliestireno expostos a mudanças climáticas se transformam em partículas	Se os polímeros plásticos de poliestireno são expostos a mudanças climáticas então se transformam em partículas
BOE_1_6	O processo representado pelas imagens acima são referentes a degradação dos materiais compostos por poliestireno, que por mais que seja algo lento ainda assim ocorre devido as diversas situações das quais o plástico é exposto. Causado principalmente por agentes como: sol, vento e chuva, que são responsáveis por grande parte dessa degradação.	Poliestireno, degradação	Os materiais compostos por poliestireno degradam lentamente, devido a diversas situações em que são expostos, principalmente sol, vento e chuva.	Poliestireno	exposto a	sol, vento e chuva	-	-	-
BOE_1_7	O plástico se degradou conforme os anos se passaram. O plástico não se dissolve. Por isso não podemos jogar lixo nos nossos lugares e sempre optar por usar itens biodegradáveis. Muitos animais morrem por causa desses	Plástico se degradou	Com o passar dos anos o plástico se degradou, por isso não podemos jogar lixo nos lugares e sempre optar por itens	Plástico	-	-	-	-	-

	lixos que não se dissolvem e por isso devemos ser conscientes.		biodegradáveis, pois muitos animais morrem por esse lixo não se dissolver.						
BOE_1_8	Ele acaba se degradando, a água vai desgastando ele com o tempo e os ventos, sol e a chuva e a radiação ultra violeta influencia na degradação do objeto	(Polímero plástico de poliestireno) se degrada	O (Polímero plástico de poliestireno) se degrada e a água vai se desgastando ele com o tempo. O vento, sol, chuva e raios UV influencia na degradação.	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	radiação UV	-		
BOE_1_9	Aos poucos esse material vai se degradando graças a exposição as condições climáticas. Como sol, vento e chuva.	(Polímero plástico de poliestireno) vai se degradando	O (Polímero plástico de poliestireno) se degrada devido a exposição as condições climáticas, como sol, vento e chuva.	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	condições climáticas	-	-	-

BOE_1_10	Com o passar dos anos, a garrafa (pet) começou a se degradar e esse processo demorará muitos anos para encerrar e além disso vai prejudicar o fundo do mar e os animais	Garrafa PET se degrada	Com o passar os anos a garra se degrada e demora anos pra esse processo se encerrar, prejudicando o fundo do mar e os animais.	Garrafa PET	-	-	-	-	-
BOE_1_11	Exposição prolongada do plástico ao sol, vento, chuva e radiação ultra violeta, o plástico se dissolve com esses elementos e se degrada, virando particulas	Plástico se degradou	O plástico ao ficar em exposição prolongada ao sol, vento, chuva e radiação UV se dissolve e se degrada, virando partículas	Plástico	exposto a	radiação UV	partículas	Os plásticos expostos a radiação UV trnsformam-se em partículas	Se os plásticos são expostos a radiação UV então transformam-se em partículas
BOE_1_12	Com o passar do tempo, o plástico descartado irregularmente se degradando liberando microplastico no ambiente. Isso se deve ao efeito das condições climáticas e a radiação ultravioleta, transformando o plástico	Plástico se degradando	Com o passar do tempo, o plástico descartado irregularmente se degrada liberando microplastico, isso se deve ao efeito da radiação UV	Plástico	exposto a	radiação UV	microplásticos	Os plásticos expostos a radiação UV trnsformam-se em microplásticos	Se os plásticos são expostos a radiação UV então transformam-se microplásticos

BOE_1_13	A garrafa se degradou com o tempo por conta da água e o sol, que fizeram com que a garrafa se desgastasse ao longo do tempo	Garrafa se degradou	A garrafa se degradou e se desgastou com o tempo por causa da água e do sol	Garrafa	exposto a	água e sol	-	-	-
BOE_1_14	Essa garrafa com o tempo acaba dissolvendo e poluindo o ambiente e até matando seres vivos, isso corre pela grande exposição do plástico as condições climáticas	Garrafa dissolvendo	A garrafa se dissolveu com o tempo, poluindo o ambiente e matando seres vivos, devido a exposição do plásticos as condições climáticas	Garrafa	exposto a	condições climáticas	-	-	-
BOE_1_15	Os polímeros plásticos de poliestireno se degradam durante o passar dos anos isso corre por conta das condições climáticas, como sol, vento e chuva e especialmente radiação ultravioleta	Polímeros plásticos de poliestireno se degradam	Os PPE se degradam com o passar dos anos, devido as condições climáticas, especialmente radiação UV	Polímeros plásticos	exposto a	radiação UV	-		

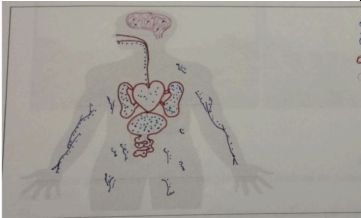
BOE_1_16	Eles se decompõem ao serem expostos ao sol, vento, chuva e especialmente a radiações ultra violetas normalmente e resulta em transformações desse material	(Polímero plástico de poliestireno) se decompõem	Os (Polímero plástico de poliestireno) se decompõem ao serem expostos a radiações UV, resultando na transformação do material	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	radiação UV	-		
BOE_1_17	Isso ocorre com a degradação do plástico no subsolo onde os micro organismos comem os nutrientes	Plástico se degradando	O plástico se degrada no subsolo e os micro organismos comem os nutrientes	Plástico	em contato	microorganismos	-	-	-
BOE_1_18	Observa-se, que, quando expostas as condições climáticas como sol, vento e chuva, os polímeros plásticos de poliestireno sofrem transformações, ou seja, não se corroendo com o passar dos anos em exposição, tornando-se difícil de ser retirado pelo tamanho pequeno.	Polímeros plásticos de poliestireno sofrem transformações	Os polímeros plásticos de poliestireno quando expostos a condições climáticas, sofrem transformações, tornando-se bem pequenos	Polímeros plásticos	exposto a	condições climáticas	tamanhos pequenos	Os polímeros plásticos expostos a condições climáticas são transformados em partículas	Então se os polímeros plásticos forem expostos a condições climáticas, então se transformam em partículas

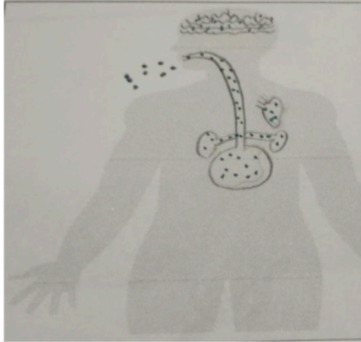
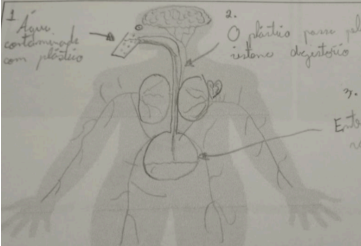
BOE_1_19	Ele degradou principalmente por conta das condições climáticas. Especialmente a radiação ultra violeta além das condições como sol, vento e chuva. Resultando na transformação desse material	(Polímero plástico de poliestireno) degradou	O (Polímero plástico de poliestireno) se degradou devido as condições climáticas, especialmente a radiação UV, resultando na transformação do material	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	condições climáticas	-		
BOE_2_20	Os polímeros plásticos de poliestireno quando descartados em lagos, mares, rios anos depois se decompõem isso ocorre devido as condições as quais eles são colocados. O contato com a água, sol e os organismos vivos, tudo isso faz com que elementos interajam assim eles os plásticos, dissolvem. Porém os plásticos demoram muito para degradar. Os resíduos ficam na água prejudicando todo ecossistema	Polímeros plásticos de poliestireno se decompõem	Os polímeros plásticos de poliestireno quando descartados na água, se decompõem, isso ocorre devido as condições em que são colocados, como água, sol e organismos vivos que interagem com os plásticos que dissolvem. Mas demora muito pra se	Polímeros plásticos	exposto a	água, sol e organismos vivos	resíduos		

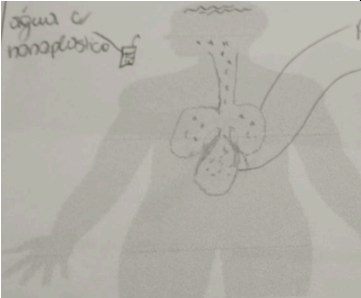
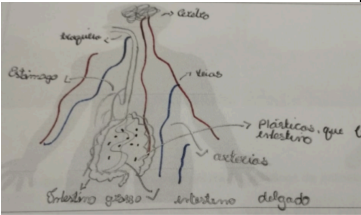
			degradar, os resíduos ficam na água e prejudicam o ecossistema.						
BOE_2_21	A água é um solvente que dissolve o plástico com passar dos anos o material da garrafa se degrada	Plástico se degrada	A água dissolve o plástico com o passar dos anos que se degrada	Plástico	em contato	água	-	-	-
BOE_2_22	Ele perde a resistencia e se mistura com a água que depois é usada no preparo dos nossos alimentos	(Polímero plástico de poliestireno) perde a resistencia	(Polímero plástico de poliestireno) perde a resistencia e se mistura com a água, que é usada para preparar nossos alimentos	(Polímero plástico de poliestireno)	em contato	água	-	-	-

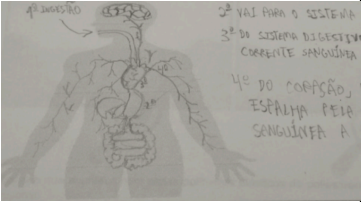
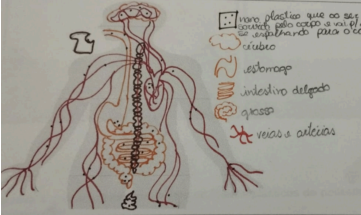
BOE_2_23	A exposição prolongada dos polímeros plásticos às condições climáticas como sol, vento e chuva, e especialmente radiações ultravioletas normalmente resulta em transformação do material	Plímeros plásticos sofre transformação	(Polímero plástico de poliestireno) são expostos as condições climáticas, especialmente arios UV e resulta em novos materiais	(Polímero plástico de poliestireno)	exposto a	radiação UV	-	-	-
----------	--	--	---	-------------------------------------	-----------	-------------	---	---	---

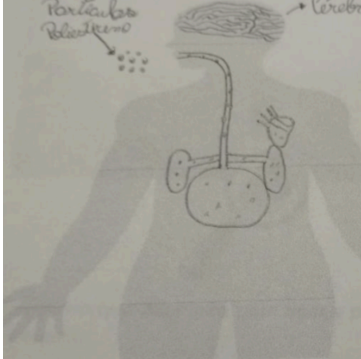
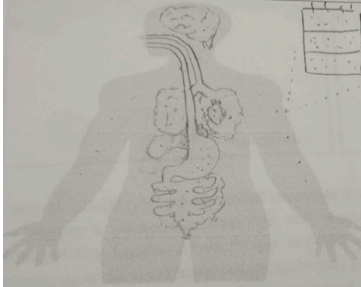
Participante	2A. Los polímeros en el medio ambiente se modifican y no se eliminan fácilmente. Una de las consecuencias de ello puede ser la ingestión regular de estos polímeros por los seres humanos. Una vez en el cuerpo dime ¿Qué sucede con ellos? Dibuja lo que pasó	2B. Ahora explica con tus propias palabras qué sucede cuando se ingieren polímeros con regularidad.	La ingestión regular durante un período de tiempo causa.....	Interpretación de la respuesta 2B	E1	relación	E2	Efecto	Relación causa-efecto	Si... entonces
--------------	--	---	--	-----------------------------------	----	----------	----	--------	-----------------------	----------------

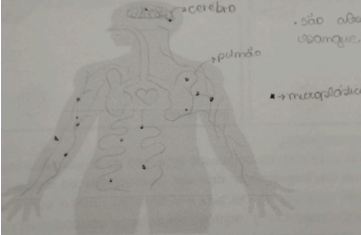
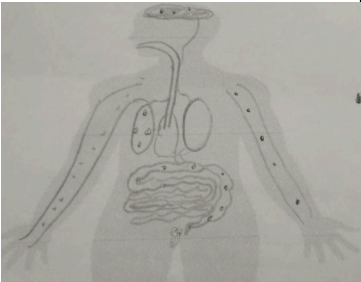
BO E_1		Os microplásticos que não saem por completo durante a filtração da água, chegam às casas dos indivíduos, que a consome contaminando. Quando a água é ingerida, ela entra no corpo se espalhando pelo resto do corpo como no órgãos, veias e etc. Isso a longo prazo altera todo o funcionamento do corpo do indivíduo, podendo ser fatal.	...acumula em organos y espalha en venas	Os microplásticos contaminam a água que é ingerida, entra no corpo e se espalha nos órgãos, veias. Com o tempo, altera o funcionamento do corpo.	Microplástico	em contacto con	água	espalha órgãos e veias	Microplástico en contacto con agua espalha em órgãos y venas	Si el microplástico entra en contacto con el agua entonces se acumula en los órganos y se propaga a las venas.
-----------	---	--	---	---	---------------	-----------------	------	------------------------	--	---

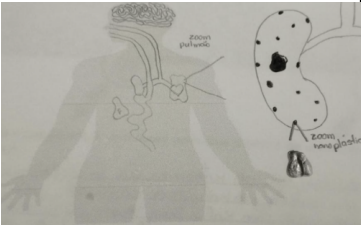
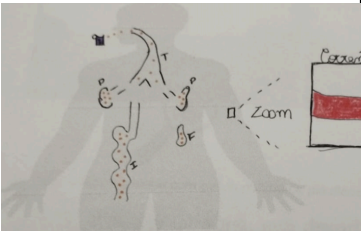
BO E_2		Ingerimos nanoplasticos, muitas vezes que animais que não são limpos corretamente e nos alimentamos desse nanoplasticos. O plástico passa por todo corpo, principalmente em órgãos, sendo muito prejudicial para a saúde.	...acumula em organos	Ingerimos nanoplasticos que passam para todo corpo (órgãos) e prejudica a saúde	Nanoplástico	em contacto com	alimento	acumula em organos	Nanoplástico em contacto com os alimentos se acumula em los órganos	Si nanoplastico entra en contacto con los alimentos entonces se acumula en los órganos
BO E_3		O plástico ingerido através da água, entra na corrente sanguínea e passa por todos os órgãos, intoxicando o corpo.	...entra na corrente sanguínea	Plástico em contato com água entra na corrente sanguínea e intoxica o corpo	Plástico	em contacto con	agua	entra en torrente sanguínea	Plástico en contacto con agua espaja en torrente sanguínea	Si plástico entra en contacto con agua entonces espaja en torrente sanguínea

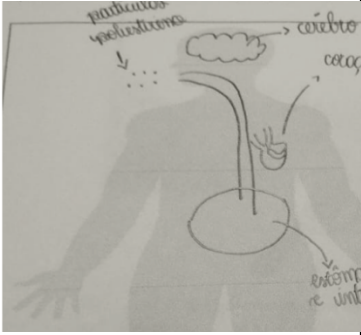
BO E_4		Os microplásticos são ingeridos através de alimentos ou líquidos contaminados, passam nas vias e podem chegar até a corrente sanguínea, devido as toxinas presentes no plásticos, essa ingestão involuntária, pode ser prejudicial à saúde.	...passa nas vias e chega até a corrente sanguínea y acumula en organos	Microplástico contamina alimento e chega na corrente sanguínea	Microplástico	em contacto con	alimento	entra en torrente sanguínea e acumula en organos	Microplásticos en contacto con los alimentos entran al torrente sanguíneo y se acumulan en los órganos	Si microplásticos está en contacto con los alimentos entonces entran al torrente sanguíneo y se acumulan en los órganos
BO E_5		Que através da água tomada por ele que estava contaminada, a contaminação vai para a corrente sanguínea, refletindo assim nos órgãos.	contamina a corrente sanguínea y acumula en intestino	Água contamina vai para corrente sanguínea e órgãos (intestino)	-	-	água	torrente sanguínea y organos		

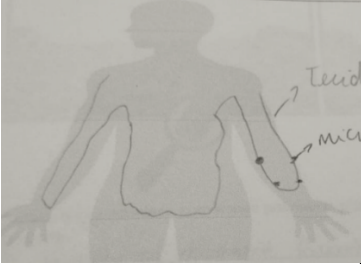
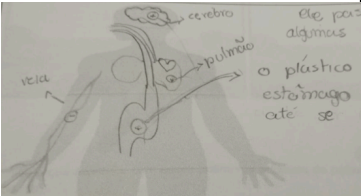
BO E_6		Os micros e nanoplásticos podem intoxicar o corpo humano e causar outros problemas, como a obstrução de veias, embora os efeitos colaterais das mesmas estão sendo estudadas.	intoxica o corpo, obstrui as veias y espaja pela torrente sanguínea	micro e nanoplástico o intoxica corpo humano, obstrue venas	Microplástico y nanoplástico	interactúa con	corpo humano	afecta lo sistema digestivo y obstruye las venas	Microplástico y nanoplástico interactúa con cuerpo humano y afecta lo sistema digestivo y obstruye las venas	Si microplástico o y nanoplástico interactúa con cuerpo humano entonces afecta lo sistema digestivo y obstruye las venas
BO E_7		Ao ser ingerido o nano plástico é absorvido pelo corpo, instalando-se na corrente sanguínea e se espalha pelas outros órgãos (pela corrente sanguínea).	absorvido pelo corpo, instala na corrente sanguínea, espalha pelos órgãos	Nanoplástico o é absorvido pelo corpo, instala em corrente sanguínea e espalha em organos	Nanoplástico	interactúa con	cuerpo humano	espaja en organos y torrente sanguínea	Nanoplástico interactúa con el cuerpo humano y se propaga en los órganos y la sangre.	Si nanoplástico interactúa con el cuerpo humano entonces se propaga en los órganos y la sangre.

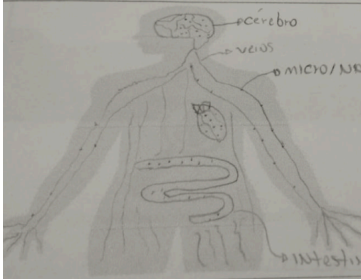
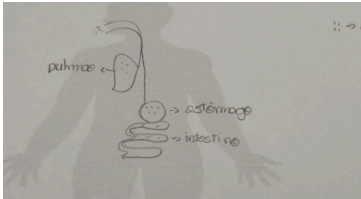
BO E_8		A pessoa está ingerido partículas de poliestireno e ela passara pelo corpo inteiro.	...passa pelo corpo	Ingere partículas de poliestireno que passa pelo corpo inteiro.	Poliestir eno	-	-	-	-	-
BO E_9		O microplástico afeta praticamente o corpo inteiro, desde o sistema digestório e respiratório, e o cérebro, mas ainda não se sabe o certo dos seus malefícios, no entanto, as consequências e intoxicação de forma geral.	afeta os sistemas digestório e respiratório e o cérebro	Microplástico afeta o corpo humano (sistema digestório e respiratório e cérebro)	Microplástico	interactúa con	cuerpo humano	afecta sistemas digestório y respiratorio y el cerebro	Microplástico interactúa con el cuerpo humano y afecta los sistemas digestivo, respiratorio y el cerebro.	Si microplástico interactúa con el cuerpo humano entonces afecta los sistemas digestivo, respiratorio y el cerebro.

BO E_1 0		Através do consumo de água/alimento contaminado com microplásticos, eles são absorvidos através da corrente sanguínea e assim, vão para os órgãos.	absorvidos na corrente sanguínea	Água/alimento contaminado com microplásticos são absorvidos através da corrente sanguínea e assim, vão para os órgãos.	Microplástico	em contacto com	água	afecta torrente sanguínea y organos	Microplásticos en contacto con el agua afectan el flujo sanguíneo y los órganos	Si microplásticos está en contacto con el agua entonces afectan el flujo sanguíneo y los órganos
BO E_1 1		Os microplásticos são consumidos e eles passam por todo o corpo humano, trazendo diversos malefícios.	passa por todo corpo	Os microplásticos são consumidos e passam por todo o corpo humano	-	-	-	-	-	-

BO E_1 2		O nanoplástico prejudica grandemente os órgãos vitais.	prejudica órgãos	O nanoplástico prejudica grandemente os órgãos vitais.	-	-	-	-	-	-
BO E_1 3		Ao ingerir algo contaminado com os polímeros plásticos de poliestireno, o acúmulo deles na corrente sanguínea se distribuem pelo restante do corpo e a presença dessas partículas podem ter consequências sérias.	acumula na corrente sanguínea	Ao ingerir algo contaminado com os polímeros plásticos de poliestireno, o acúmulo deles na corrente sanguínea se distribuem pelo restante do corpo e a presença dessas partículas podem ter	Polímero o plástico	em contacto com	torrente e sanguínea	afecta el cuerpo humano o	Polímero plástico en contacto con torrente sanguínea afecta el cuerpo humano	Si el polímero plástico entra en contacto con el torrente sanguíneo entonces afecta al cuerpo humano.

				consequências sérias.						
BO E_1 4		Ao serem ingeridos as partículas de plástico agem no sistema sanguíneo e percorre o corpo devido ao coração, também pode ir para o estômago e intestinos. Recentemente descobriram indícios de nanoplásticos no cérebro humano.	agem no sistema sanguíneo, percorre o corpo e vai para o estômago e intestinos.	Ao serem ingeridos as partículas de plástico agem no sistema sanguíneo e percorre o corpo devido ao coração, também pode ir para o estômago e intestinos. Recentemente descobriram indícios de nanoplásticos no cérebro humano.	Partículas de plástico	em contacto com	torrente sanguínea	acumula no estômago e intestinos	Partículas de plástico em contacto com o fluxo sanguíneo se acumulam no estômago e intestinos.	Si partículas de plástico em contacto con el flujo sanguíneo entonces se acumulan en el estómago y los intestinos.

BO E_1 5		Os micro-plásticos não são digeridos pelo sistema digestório humano, dessa forma os micro-polímeros se alojam no tecido adiposo das pessoas, o que pode acabar ocasionando problema de saúde.	aloja no tecido adiposo	Os micro-plásticos não são digeridos pelo sistema digestório humano, dessa forma os micro-polímeros se alojam no tecido adiposo das pessoas, o que pode acabar ocasionando problema de saúde.	Microplásticos	-	tecido adiposo	-	-	-
BO E_1 6		A substância é absorvida pelo corpo e passa por algumas áreas do corpo até o estômago, ficando lá até ser defecado.	passa por partes do corpo	A substância é absorvida pelo corpo e passa por algumas áreas do corpo até o	Substância	interactua con	cuero humano	acumula en el estómago	Sustancia interactúa con el cuerpo humano y se acumula en el	Si sustancia interactúa con el cuerpo humano entonces se acumula en el estómago.

				estômago, ficando lá até ser defecado.					estômago	
BO E_1 7		Por meio da ingestão de alimentos que contem as pequenas partículas de plásticos, levando em alguns casos a causar ?, retardo e intoxicação.	retardo e intoxicação	A ingestão de alimentos com pequenas partículas de plásticos causa retardo e intoxicação.	Alimento	interactua com	partículas de plástico	causa retardo y intoxicacion	Alimento interactua con partículas de plástico causa retardo y intoxicacion	Si alimento interactúa con partículas de plástico entonces acumula en organos y venas
BO E_1 8		Quando aspiramos o nanoplástico ele pode ser levado até o pulmão, ficando alojado nos bronquios causando serias complicações. Además, quando consumimos eles pela boca ele passara pelo	aloja nos pulmões e passa no sistema digestório, causa nódulos no intestino	Quando aspiramos o nanoplástico ele pode ser levado até o pulmão, ficando alojado nos bronquios causando serias complicações	Nanoplástico	em contacto con	pulmón	acumula en bronquios	Nanoplástico en contacto con el pulmón se acumula en los bronquios	Si nanoplástico entra en contacto con el pulmón entonces se acumula en los bronquios

		sistema de digestão ficando pequenos pedaços onde ele passa além disso quando fica parado pode causar nódulos no intestino, colaborar para doenças como hernias e gastrite.		es. Además, quando consumimos eles pela boca ele passara pelo sistema de digestão ficando pequenos pedaços onde ele passa além disso quando fica parado pode causar nódulos no intestino, colaborar para doenças como hernias e gastrite.						
					Nanoplástico	em contacto com	sistema digestivo	causa nodulos no	Nanoplástico em contacto	Si nanoplástico entra en

								intestino	con el sistema digestivo provoca nódulos en el intestino	contacto con el sistema digestivo entonces provoca nódulos en el intestino
--	--	--	--	--	--	--	--	-----------	--	--

BOE_2_1	Acontece que pode ter uma intoxicação, cancer ou até mesmo uma úlcera no estomago ou no intestino	intoxicação, cancer e úlcera	causa intoxicacao, cancer e ulcera	-	-	-	intoxicação, cancer e úlcera	-	-
BOE_2_2	Pesquisas recentes feitas por universidades mostra que recentemente foi achado plástico no cerebro de pessoas, isso é muito preucupante pois pode causa varios problemas na pessoa	atrapalham a função de vários órgãos do corpo, sistema de respiração e digestão	o PPE causa vários problemas na pessoa, principalmente nas crianças, atrapalhando a função de vários órgãos	Plástico	presente em	cérebro	afecta sistemas digestório y respiratório	Plásticos presentes no cérebro afeta sistema digestório e respiratório	Se os plásticos estão presentes no cérebro então afeta o sistema digestório e respiratório

	como pode afetar também na inteligência e capacidade da pessoa, isso é pior ainda para as crianças que estão em desenvolvimento do cérebro delas, e esses plásticos, atrapalham a função de vários órgãos do corpo, pode atrapalhar o sistema de respiração e digestão e desenvolvimento da aquela pessoa		do corpo, como sistema respiratório e digestório						
BOE_2_3	Ao não ser dissolvido, o plástico prejudica as funções do corpo no sistema digestório, respiratório, etc	prejudica as funções do corpo	a não dissolução do plástico prejudica as funções do corpo	Plástico	-	-	afecta sistema digestório	-	-

BOE_2_4	Os microplásticos grudam na parede do intestivo	Grude na parede do intestino	Os microplásticos grudam na parede do intestino	Microp lástico	interact úa con	parede do intestino	-	-	-
BOE_2_5	Esse processo de estar com um plástico dentro do seu estômago irá causar um grande problema, pois o plástico não vai digerir e pode danificar sua respiração. Existe uma probabilidade de gerar um problema de saúde, chegamos até a morte, por isso, devemos cuidar do meio ambiente	Acumulo no estômago	O plástico acumula no estômago e não é digerido causando problema	Plástico	acumula en	Estôma go	danifica a a respiração	O plástico acumulado no estômago danifica a respiração	Se o plástico acumula no estômago, então danifica a respiração

BOE_2_6	Ao ingerir ela passar por todo processo digestivo e é expelida	passa por todo processo digestivo e é expelida	Ao ingerir passa por todo processo digestivo e é expelida	(Polímero plástico de poliestireno)	-	-	-	-	-
BOE_2_7	A pessoa comem foi parar o estomago depois dele dissolver foi pro coração e depois pra corrente sanguínea	Para no estômago, depois coração e corrente sanguínea	Ao comer foi para o estômago, depois de se dissolver foi para o coração e depois para a rede sanguínea	(Polímero plástico de poliestireno)	-	-	-	-	-
BOE_2_8	O plástico não vai ser digerido como um alimento, o sistema digestório e respiratório não vão aceitar bem o plástico no corpo, desta forma sendo necessário até mesmo um tratamento	má digestão	O plástico não vai ser digerido e o sistema digestório e respiratório não vão aceitar bem o plástico, precisando	Plástico		-	-	-	-

			de tratamento						
BOE_2_9	Os nanoplásticos permanecem no corpo, pois não são biodegradáveis. Por serem corpos externos, isso não é algo muito bom * * Não conheço os motivos, mas imagino que as consequências possam incluir: erros na duplicação celular, causando mutações genéticas, resposta imune contra os plásticos pois são invasivos, etc.	Permanência no corpo	Os nanoplásticos permanecem no corpo, pois não são biodegradáveis, e isso não é algo bom.	Nanoplásticos	acumulam em	corpo	mutação genética	Os nanoplásticos acumulados no corpo causam mutação genética	Se os plásticos acumulam no corpo então causam mutação genética
BOE_2_10	Após a pessoa ingerir os polímeros plásticos de polietileno, vai passar, por uma ingestão pois isto vai passar pelo intestino e pelo estômago	passa pelo intestino e pelo estômago	A pessoa vai ingerir os polímeros plásticos de polietileno e vai passar por uma ingestão, passando pelo intestino	Polímeros plásticos de polietileno	-	-	-	-	-

			e pelo estômago						
BOE_2_11	Esse plástico com o tempo pode fazer mal	pode fazer mal	O plástico com o tempo faz mal	Plásticos	-	-	-	-	-
BOE_2_12	O nanoplástico passa pelo esôfago, pelo estômago, mas não é digerido e o intestino delgado absorve parte do nanoplástico e o resto é expelido. Nessa absorção que o intestino fez a pessoa que ingeriu pode ter problema a saúde.	passa pelo esôfago, pelo estômago mas não é digerido e o intestino delgado absorve	O nanoplástico passa pelo esôfago, estômago e não é digerido, seguindo pro intestino delgado que absorve o nanoplástico e o restando é expelido.	Nanoplástico	absorvido por	intestino delgado	problema a saúde	O nanoplástico é absorvido pelo intestino delgado causando problemas a saúde	Se o nanoplástico é absorvido pelo intestino delgado então causa problemas a saúde
BOE_2_13	Ao ser ingerido, as partículas de polímeros de plásticos de polietileno, não são digeridas, assim desregulando todo o sistema digestório, trazendo	desregulação de todo o sistema digestório	As partículas de PPE não são digeridas e assim ocorre a desregulação do sistema digestório	Polímeros plásticos de polietileno	acumulam em	sistema digestório	afeta o corpo humano	Os polímeros plásticos de polietileno acumulam no sistema digestório e afeta o corpo humano	Se o PPE acumula no sistema digestório então afeta o corpo humano

	consequencia ao corpo humano								
BOE_2_14	Esses pequenos polímeros de plásticos são absorvidos em maior quantidade e expelidos em sua maioria.	Absorção dos pequenos polímeros plásticos	Os PPE são absorvidos em maior quantidade e expelidos	Polímeros plásticos	-	-	-	-	-
BOE_2_15	A pessoa ingeri partículas de nanoplásticos propositalmente ou impropositalmente e o acido do estômago dissolve o plástico por causa do pH ácido do estômago	Estômago dissolve o plástico	Quando uma pessoa ingere o nanoplástico o ácido do estômago dissolve-o por causa do seu pH ácido	Partículas de nanoplástico	interactua com	ácido do estômago	-	-	-
BOE_2_16	Ao ingerir esses plásticos, a digestão dele é feita normalmente igual aos outros alimentos normais	Digestão	A digestão dos plásticos é feita normalmente, iguais os outros alimentos	Plástico	-	-	-	-	-

BOE_2_17	Após a ingestão da água contendo os nanoplásticos, uma vai ser absorvida pelas paredes do intestino, filtrada pelos rins e uma pequena parte dos nanoplásticos vai ir para sangue a outra será expelida e com essa constante ingestão fará algum mal a saúde causada pelo acúmulo desses plásticos.	Absorção pelas parede do intestino e sangue e causando acúmulo	Após a ingestão da água contaminada, os nanoplásticos vai ser absorvido pelas paredes do intestino, filtrada pelos rins e uma pequena parte irá para o sangue, o restante será expelida. A constante ingestão causada acúmulo.	Nanoplástico	absorvida por	paredes do intestino	afecta a saúde	O nanoplástico absorvido pelas paredes do intestino afeta a saúde	Se o nanoplástico é absorvido pelas paredes do intestino então afeta a saúde
----------	---	--	--	--------------	---------------	----------------------	----------------	---	--

BOE_2_18	Quando o microplástico é ingerido, o estômago não consegue dissolvido, assim ele pode ser absorvida e armazenado em certas partes do corpo	Absorvida e armazenado em certas partes do corpo	Quando o microplástico é ingerido, o estômago não consegue dissolver e o certas partes do corpo o absorver então	Microp lástico	acumul an en	estomâ go	afecta partes del cuerpo	O microplástico acumula no estômago e afeta partes do corpo	Se o microplástico acumula no estômago então afeta parte do corpo humano
BOE_2_19	Quando a pessoa toma água com alguns resíduos de plásticos, o estômago não digere 100% e acaba grudando no intestino delgado	Grudando no intestino gelado	Ao ingerir águas com alguns resíduos plásticos, o estômago não digere e acaba grudando no intestino delgada	Plástic os	interact úa con	intestin o delgad o	-	-	-
BOE_2_20	O microplástico entra no organismo passa pelo estomago e nao consegue digerir sendo armazenado em outras partes	Estômago não digere e é armazenado em outras partes	O microplástico passa pelo estômago e não é digerido sendo armazenado	Microp lástico	acumul an en	partes del cuerpo	-	-	-

			em outras partes						
BOE_2_21	Os microplástico vão grudar na parede do intestino	Grude na parede do intestino	Os microplásticos grudam na parede do intestino	Microp lástico	acumul an en	parede do intestino	-	-	-
BOE_2_22	As partículas de microplásticos após ingeridas pelo corpo humano passam pelo esôfago e ao chegar no estômago o suco gástrico não consegue digerir e vai mandar para o intestino, o que uma parte dos microplásticos serão absorvidas e outras talvez expelidas.	O estômago não consegue digerir e o intestino vai absorver,	As partículas de microplásticos são ingeridas e passam pelo esôfago, ao chegar no estômago o suco gástrico não consegue digerir e vai mandar pro intestino, uma parte é absorvida e outras expelidas	Microp lástico	acumul an en	intestino	-	-	-

BOE_2_23	Caso o plástico entre no estômago ele não se dissolve 100% ficando preso no intestino.	Prisão no intestino	O plástico entra no estômago e não se dissolve, ficando preso no intestino	Microp lástico	acumul an en	intestin o	-	-	-
BOE_2_24	Ele engoliu os polimeros plasticos	-	Engoliu polímeros plásticos	polímer os plástico s	-	-	-	-	-

BOE_1_1	O corpo terá dificuldade para ingerir, mas após ingerir o plástico será corroido pelo ácido estomacal, e depois sairá pelo processo digestivo	Saira pelo processo digestivo	Plástico será ingerido e corroido pelo ácido estomacal e depois sairá	Plástico	em contato	ácido estomacal	-	-	-
---------	---	-------------------------------	---	----------	------------	-----------------	---	---	---

BOE_1_2	Ao ingerir os microplásticos, elas vão para o sangue e depois vão para o cérebro, causando danos ao corpo todo.	Danos ao corpo todo	Microplásticos vão para o sangue e depois para o cérebro e danifica o corpo	Microplástico	em contacto com	sangue e cérebro	danifica o corpo humano	El microplástico en contacto con la sangre llega al cerebro	Si el microplástico entra en contacto con la sangre entonces llega al cerebro
BOE_1_3	Quando um micro-plástico é ingerido, ele pode se espalhar facilmente pelo corpo causando infarto e outras doenças.	Causar infarto e outras doenças	Ao ingerir o microplástico, ele se espalha facilmente pelo corpo, causando infarto e outras doenças	Microplástico	em contacto com	o corpo	causa infarto	El microplástico en contacto con el cuerpo causa infarto	Si el microplástico entra en contacto con el cuerpo entonces causa infarto
BOE_1_4	Em minha opinião os microplásticos por serem micro eles vão para o estômago e permanecem lá, sem ocorrer a fragmentação dos mesmos. Como	o estômago fica inflamado e sensível devido a acomodação dos microplásticos	Por serem micro, os microplásticos vão para o esôfago e permanecem lá, sem ocorrer fragmentação	Microplástico	acumulam em	estômago	causa inflamação	El microplástico acumulan en estómago y causa inflamación	Si el microplástico acumulan en estómago entonces causa inflamación

	consequencia o estomago fica inflamado e sensível devido a acomodação dos microplásticos.		o. Como consequência o estômago fica inflamado e sensível.						
BOE_1_5	As partículas de polímeros plásticos de poliestireno contida na água que ingerimos, vão para o nosso estomago, onde o ácido estomacal não consegue dissolve-lo e deixa o estomago sensível.	estômago fica sensível	os PPE contidos na água que ingerimos, vão para o estômago, onde o ácido estomacal não consegue dissolve-lo, deixando o estômago sensível.	Microplástico	em contacto com	ácido estomacal	sensibiliza el estómago	El microplastico en contacto con acido del estómago sensibiliza el estómago	Si microplastico entra en contacto con acido del estómago entonces sensibiliza el estómago

BOE_1_6	Ao ingerirmos água com a presença de polímeros plásticos essas partículas seguem o caminho para o estômago para passar pelo processo de digestão através dos ácidos presentes do estômago, porém não se desintegram por completo até o momento em que são expelidos para o externo do corpo humano.	expelidos para o externo do corpo humano	Ao ingerirmos água com partículas de polímeros plásticos, elas seguem para o estômago para passar pelo processo de digestão através dos ácidos presentes, porém não se desintegram por completo até o momento em que são expelidos.	Microplástico	em contacto com	ácido estomacal	expelidos del cuerpo humano	Los microplásticos en contacto con el ácido del estómago son expulsados del cuerpo humano	Si los microplásticos entran en contacto con el ácido del estómago entonces son expulsados del cuerpo humano
---------	--	---	--	----------------------	------------------------	------------------------	------------------------------------	--	---

BOE_1_7	O micro-plástico se acumulou no coração dele, fazendo ele ter uma parada cardíaca e infelizmente morrer	acumulou no coração	Os micro plásticos se acumulam no coração, fazendo com que ocorra parada cardíaca e morte	Microplástico	acumula em	coração	parada cardíaca	Los microplásticos acumulan en el corazón y causan parada cardíaca	Si los microplásticos acumulan en el corazón entonces causa parada cardíaca
BOE_1_8	Ao beber a água com os micro plásticos eles acabam te dando uma intoxicação e a pessoa passa mal e tem mal estar e vômito	intoxicação	Ao ingerir água com micro plásticos causa intoxicação, fazendo com que o ser humano passe mal, com mal estar e vômito	Microplástico	acumulam em	estômago	vômito	Los microplásticos acumulan en el estomago y causan vômito	Si los microplásticos acumulan en el estomago entonces causan vômito

BOE_1_9	Os resíduos grudam nas paredes do esôfago, da garganta e da tiroide.	grudam nas paredes so esôfago, garganta e tiroide	Os resíduos grudam nas paredes do esôfago, da garganta e da tiroide.	resíduos	interactua	paredes do esôfago, garganta e tiroide	-	-	-
BOE_1_10	Os polímeros plásticos se dissolvem com o ácido biliar do estomago mas podem ocasionar dores estomacais, fezes fedidas e muita azia	dores estomacais, fezes e muita azia	Os PP se dissolvem com o ácido biliar do estômago, ocasionando dores estomacais, fezes e muita azia	Polímeros plásticos	em contacto con	ácido del estómago	dor y azia	Los polímeros plásticos en contacto con el ácido del estómago provocan dolor y acidez estomacal.	Si los polímeros plásticos entran en contacto con ácido del estómago entonces causa dolor y acidez estomacal
BOE_1_11	É digerido no estomago com o acido presente	digerido no estomago	O (microplástico) é digerido pelo ácido presente no estômago	Partículas	interactua	ácido do estômago	-	-	-

BOE_1_12	O microplástico adentra no corpo humano, estando presente no sangue e em órgãos como o cérebro, o coração.. Em grande quantidace, ele pode resultar em problemas de saúde	resulta em problemas de saúde	O microplástico entre no corpo humano, estando presente no sangue e em outros órgãos, como cérebro e coração, em grandes quantidades resulta em problemas de saúde	Microplástico	em contato	corpo humano	problemas de saúde	Los microplásticos en contacto con el cuerpo humano causa problemas de salud	Si los microplasticos entran en contacto con el cuerpo humano entonces casua problemas de salud
BOE_1_13	Em minha consepisão os micro plasticos vam para noso estomago e se disovem no asido estomacal que pode em certas vezes nos cauzar azia ou não mas nao acho que afeta o nosso	causar azia	Os microplásticos vão para o estômago e se dissolvem no ácido estomacal, causando azia e	Microplástico	em contato com	ácido del estôma go	acidez estomacal	Los microplasticos en contacto con ácido del estomago causa acidez estomacal	Si los microplásticos entran en contacto con ácido del estomago entonces causa acidez estomacal

	organismo		afetando nosso organismo						
BOE_1_14	Quando você consome esse plástico ela causa dores e pode prender no seu esôfago e causar outras doenças.	causar dores e prender no esôfago, causando outras doenças	Ao consumir o plástico, causa dores, podendo prender no esôfago e causar outras doenças	plástico	intetactua	esôfago	dores e doenças	Quando o plástico interactua no esôfago causa dores e doenças	Se o plástico interactua no esôfago, então causa dores e doenças
BOE_1_15	A pessoa bebe a água contaminada e fica com dor no estômago, passando muito mal	dor no estômago	Ao beber água contaminada a pessoa pode ficar com dor no estômago e passar mal	-	-	-	dor no estômago	-	-

BOE_1_16	No corpo humano acontece de tudo um pouco, digestão, crescimento, pensamentos, evacuação, armazenamento entre outras diversas coisas	?	O corpo humano acontece muitas coisas, como: digestão, crescimento, pensamentos, evacuação, armazenamento entre outras diversas coisas	-		corpo humano			
BOE_1_17	o corpo começa a reagir de forma negativa, expulsa as partículas	?	O corpo reage de forma negativa expulsando as partículas	corpo humano	-	-	partículas	-	-

BOE_1_18	Acredito que esses microplásticos são levados através da água pelo corpo e param no estomago, prejudicando o sistema digestório a realizar digestão dos alimentos	prejudicando o sistema digestório	Os microplásticos são levados através da água, para o corpo e para no estômago, prejudicando o sistema digestório	Microplástico	acumula em	estômago	sistema digestório	Los microplasticos acumulan en estómago y afectan sistema digestorio	Si los microplásticos acumulan en estómago entonces afectan el sistema digestorio
BOE_1_19	Imagina que residuos podem causar uma irritação no estomago, afetando na digestao. Podendo causar vomitos e diarreias	irritação no estômago	Os resíduos podem causar irritação no estômago, afetando a digestão, causando vômitos e diáreeias	resíduos?	interaje	estômago	vômitos e diarreias		

BOE_2_20	Ao ingerir a água contaminada os resíduos vão parar no estomago do ser humano prejudicando todo sistema digestório	prejudicando todo sistema digestório	As ingerir água contaminada por resíduos, esses vão para o estômago e prejudicam o sistema digestório	Resíduos	acumulam em	estômago	prejudicando o sistema digestório	Los residuos acumulan en estómago y perjudica el sistema digestorio	Si los residuos acumulan en estómago entonces perjudica el sistema digestorio
BOE_2_21	Acredito que os micro-organismos que ficaram na água não são 100% liberados pelo corpo e as vezes ficam grudados e afetam o corpo de diversas formas como bacterias	afeta o corpo de diversas formas	Os micro-organismos que estão presentes na água não foram 100% liberados pelo corpo e ficam grudados, afetando o corpo de diversas formas, como dando bactérias	microorganismos	acumula no	corpo	-		

BOE_2_22	Eu acho que eles ficam no fundo do estomago	ficam no fundo d estômago	Os (microplásticos) ficam no fundo do estômago	-	acumula no	estômago	-	-	-
BOE_2_23	Vai pro intestino e o corpo tem muita dificuldade pra digerir	Dificuldade de digerir	Os (microplásticos) vai para intestino e o corpo tem dificuldade para digerir	-	acumula no	intestino	-		

APÊNDICE 21

Tensionamento das propriedades para compor o MCEA

Tensionamento constituinte ontológico (propriedades)					
MCi		MEI		MCEA	
Entidade	Propriedade	Entidade	Propriedade	Entidade	Propriedade
Poliestireno	Polímero amorfo caracterizado por su baja conductividad térmica y reducida densidad.	Botella de plastico	degrada y libera partículas de plástico	Polímero	Los polímeros, al estar expuestos a factores ambientales como radiación ultravioleta, temperatura y procesos de desgaste físico-químico, pueden sufrir degradación parcial, fragmentándose en micro y nanoplásticos que persisten en el ambiente y, en algunos casos, liberan aditivos o compuestos tóxicos asociados.
Radiación UV	Una forma de radiación electromagnética no visible, comprendida entre 10 y 400 nm en el espectro.	Plástico	Tarda en descomponerse/ Se degrada en pequeñas partículas que no desaparecen del todo/ Se convierte en nanoplástico y libera sustancias tóxicas.	Poliestireno	El poliestireno es un polímero termoplástico de estructura amorfa compuesto por cadenas de carbono con grupos fenilo, caracterizado por su baja conductividad térmica y densidad reducida. Bajo condiciones ambientales, no se degrada completamente, sino que tiende a fragmentarse en micro y nanoplásticos persistentes en el medio.

Radical alquilo	Constituyen intermediarios altamente reactivos derivados de alcanos, cuya generación puede producirse a través de procesos de escisión homolítica o mediante técnicas de fotocatalisis.	Polímero plástico de poliestireno	Expuesto a las condiciones climáticas y a los rayos UV, las conexiones estructurales se rompen/se acumula en el torrente sanguíneo.	Radiación UV	La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética no visible, ubicada en el rango de 10 a 400 nm del espectro, capaz de propagarse en el vacío o en medios materiales. Su origen puede ser natural, principalmente solar, o artificial, mediante dispositivos tecnológicos. Debido a su alta energía, la radiación UV puede inducir reacciones fotoquímicas, provocando la degradación de polímeros como el poliestireno.
Molécula de oxígeno	Diatómica y presenta un estado fundamental triplete, siendo paramagnética y un potente agente oxidante.	Poliestireno	Formado por pequeñas partículas de plástico que no desaparecen con el tiempo/Se fragmenta/Formado por una cadena de carbonos.	Nanoplástico	Los nanoplásticos son fragmentos de polímeros con dimensiones menores a 1 μm , lo que les confiere una alta relación superficie/volumen y, en consecuencia, una elevada reactividad. Debido a su tamaño, son invisibles al ojo humano, pueden atravesar membranas biológicas y acumularse en tejidos, donde inducen efectos tóxicos como estrés oxidativo y disfunción celular.

Radical peroxilo	Especies reactivas de oxígeno altamente inestables, caracterizadas por el enlace débil O–O y su comportamiento paramagnético. Actúan en la propagación de reacciones oxidativas, con un papel en la señalización celular y en procesos de estrés oxidativo.	Plástico de poliestireno	Se descompone en microplástico.	Membrana celular	La membrana celular, también conocida como membrana plasmática o plasmalema, es una estructura fundamental que envuelve a todas las células vivas, tanto procariotas como eucariotas. Está compuesto principalmente por una bicapa de fosfolípidos y proteínas, con un espesor que varía entre 7,5 y 10 nanómetros.
Hidroperoxilo	Especies reactivas de oxígeno inestables, caracterizadas por el enlace débil O–O y un fuerte potencial oxidante.	Nanoplástico	Perjudica la vida humana y animal/ Es contaminante y corrosivo/ Invisible a simple vista/ Envenena el cuerpo humano/ Pequeña partícula de plástico.	Celulas	Las células se definen como las unidades estructurales y funcionales de todos los seres vivos. Son las estructuras más pequeñas capaces de realizar todas las funciones vitales, como el crecimiento, la reproducción y la respuesta a estímulos.
Radical alcoxilo	Especies altamente reactivas derivadas de la escisión de hidroperóxilos, caracterizadas por su inestabilidad y capacidad de abstraer hidrógenos, propagando reacciones oxidativas.	Partículas de plástico	Son tóxicos.	Proteína	Macromoléculas formadas por aminoácidos que presentan carácter anfótero, solubilidad variable y estructuras jerárquicas (primaria a cuaternaria).
Radical hidroxilo	Especie reactiva de oxígeno extremadamente inestable y de vida muy corta, con alto poder oxidante y baja selectividad.	Microplástico	Intoxica el cuerpo humano/Pasa por todo el cuerpo humano/Son micropolímeros.	Endosoma	Orgánulo vesicular que regulan el tráfico intracelular mediante la clasificación de receptores y ligandos, con acidificación progresiva y comunicación con

					lisosomas, siendo esenciales para la homeostasis y relevantes en procesos patológicos.
Grupo carbonilo	Presenta una marcada polaridad, caracterizada por un carbono electrofílico y un oxígeno nucleofílico, lo que favorece las reacciones de adición nucleofílica y el equilibrio tautomérico ceto-enólico.			Lisosoma	Orgánulo vesicular ácido que contiene enzimas hidrolíticas responsables de la degradación y el reciclaje de biomoléculas, siendo esenciales para la homeostasis celular.
Nanoplástico	Con dimensiones inferiores a 1 μm , presentan alta relación superficie/volumen y capacidad de adsorber contaminantes, lo que incrementa su reactividad. Además, pueden atravesar membranas celulares, inducir estrés oxidativo.			Radical alquilo	Constituyen intermediarios altamente reactivos derivados de alcanos, cuya generación puede producirse a través de procesos de escisión homolítica o mediante técnicas de fotocatalisis.
Proteína	Macromoléculas formadas por aminoácidos que presentan carácter anfótero, solubilidad variable y estructuras jerárquicas (primaria a cuaternaria).			Grupo carbonilo	Presenta una marcada polaridad, caracterizada por un carbono electrofílico y un oxígeno nucleofílico, lo que favorece las reacciones de adición nucleofílica y el equilibrio tautomérico ceto-enólico.
Proteína corona	Constituye una interfase biológica dinámica formada por la adsorción de proteínas sobre la superficie de nanopartículas, modificando			Proteína corona	Constituye una interfase biológica dinámica formada por la adsorción de proteínas sobre la superficie de nanopartículas, modificando de manera significativa sus propiedades

	de manera significativa sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.				fisicoquímicas y biológicas.
Proteína adaptina	Proteínas que forman complejos adaptadores (AP), uniendo receptores de membrana a la clatrina, reconociendo señales de carga y regulando el tráfico intracelular de vesículas.				
Proteína clatrina	Proteína con forma de triskelion que se autoensambla en redes poliédricas, recubriendo vesículas durante la endocitosis y el tráfico intracelular, siendo crucial para el transporte y el reciclaje de proteínas de membrana.				
Endosoma	Orgánulo vesicular que regulan el tráfico intracelular mediante la clasificación de receptores y ligandos, con acidificación progresiva y comunicación con lisosomas, siendo esenciales para la homeostasis y relevantes en procesos patológicos.				

Lisosoma	Orgánulo vesicular ácido que contiene enzimas hidrolíticas responsables de la degradación y el reciclaje de biomoléculas, siendo esenciales para la homeostasis celular.				
----------	--	--	--	--	--

APÊNDICE 22

Demandas cognitivas dos estudantes

Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes			
O que necessita de acordo com MCEA para compreender o fenômeno?			
Etapa	Entidades	En MEI	Demandas
Degradación	Polímero	x	<i>Enunciar las entidades que intervienen en el proceso de degradación del poliestireno.</i>
	Poliestireno	x	<i>Enunciar y explicar el proceso de degradación del poliestireno.</i>
	Nanoplástico	x	
	Radiação UV	x	<i>Enunciar las entidades que intervienen en el proceso de absorción y bioacumulación.</i>
Bioacumulación	Célula	-	<i>Enunciar y explicar el proceso de bioacumulación.</i>
	Membrana celular	-	
	Proteína	-	
	Endosoma	-	
	Lisosoma	-	

Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes			
O que necessita de acordo com MCEA para compreender o fenômeno?			
Etapa	Propiedades	Em MEI	Demandas
Polímero	Los polímeros, al estar expuestos a factores ambientales como radiación ultravioleta, temperatura y procesos de desgaste físico-químico, pueden sufrir degradación parcial, fragmentándose en micro y nanoplásticos que persisten en el ambiente y, en algunos casos, liberan aditivos o compuestos tóxicos	Se degrada lentamente, fragmentándose en micro y nanoplásticos que liberan sustancias tóxicas.	<i>Asociar los factores y las condiciones del sistema con el proceso de degradación.</i>

	asociados.		
Poliestireno	El poliestireno es un polímero termoplástico de estructura amorfa compuesto por cadenas de carbono con grupos fenilo, caracterizado por su baja conductividad térmica y densidad reducida. Bajo condiciones ambientales, no se degrada completamente, sino que tiende a fragmentarse en micro y nanoplásticos persistentes en el medio.	Se fragmenta por acción de los rayos UV y las condiciones climáticas, liberando microplásticos que persisten y pueden acumularse en el organismo.	<i>Enunciar que el nanoplástico es uno de los productos de la degradación. Diferenciar la degradación de la bioacumulación en el organismo.</i>
Radiación UV	La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética no visible, ubicada en el rango de 10 a 400 nm del espectro, capaz de propagarse en el vacío o en medios materiales. Su origen puede ser natural, principalmente solar, o artificial, mediante dispositivos tecnológicos. Debido a su alta energía, la radiación UV puede inducir reacciones fotoquímicas, provocando la degradación de polímeros como el poliestireno.	-	<i>Enunciar que la exposición a la radiación UV inicia la fotodegradación debido a las interacciones con el material a largo plazo.</i>
Nanoplástico	Los nanoplásticos son fragmentos de polímeros con dimensiones menores a 1 μm , lo que les confiere una alta relación superficie/volumen y, en consecuencia, una elevada reactividad. Debido a su tamaño, son invisibles al ojo humano, pueden atravesar membranas biológicas y acumularse en tejidos, donde inducen efectos tóxicos como estrés oxidativo y disfunción celular. Además, presentan la capacidad de adsorber contaminantes del medio, potenciando su impacto ambiental y en la salud.	Son partículas plásticas pequeñas, tóxicas e invisibles que contaminan, corroen y pueden recorrer y envenenar el cuerpo humano, afectando también la vida animal.	<i>Enunciar que las partículas pueden atravesar las membranas biológicas debido a su tamaño y reactividad, induciendo efectos tóxicos como el estrés oxidativo y la disfunción celular.</i>

Membrana celular	La membrana celular, también conocida como membrana plasmática o plasmalema, es una estructura fundamental que envuelve a todas las células vivas, tanto procariotas como eucariotas. Está compuesto principalmente por una bicapa de fosfolípidos y proteínas, con un espesor que varía entre 7,5 y 10 nanómetros.	-	<i>Enunciar que la membrana plasmática es una estructura que recubre las células y presenta una permeabilidad selectiva para determinadas especies, según su tamaño y características químicas.</i>
Celulas	Las células se definen como las unidades estructurales y funcionales de todos los seres vivos. Son las estructuras más pequeñas capaces de realizar todas las funciones vitales, como el crecimiento, la reproducción y la respuesta a estímulos.	-	<i>Enunciar que las células son estructuras pequeñas capaces de realizar todas las funciones vitales de crecimiento, reproducción y respuesta a estímulos.</i>
Proteína	Macromoléculas formadas por aminoácidos que presentan carácter anfótero, solubilidad variable y estructuras jerárquicas (primaria a cuaternaria).	-	<i>Identificar que proteínas de carácter anfótero recubren la membrana celular.</i>
Endosoma	Orgánulo vesicular que regulan el tráfico intracelular mediante la clasificación de receptores y ligandos, con acidificación progresiva y comunicación con lisosomas, siendo esenciales para la homeostasis y relevantes en procesos patológicos.	-	<i>Enunciar que el endosoma es un orgánulo responsable del proceso de endocitosis.</i>

Lisosoma	Orgánulo vesicular ácido que contiene enzimas hidrolíticas responsables de la degradación y el reciclaje de biomoléculas, siendo esenciales para la homeostasis celular.	-	<i>Enunciar que los lisosomas son responsables de la digestión celular y, por lo tanto, cuando no eliminan el nanoplástico, se produce bioacumulación.</i>
-----------------	--	---	--

Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes			
O que necessita de acordo com MCEA para compreender o fenômeno?			
Etapas	Relaciones causa-efecto	Em MEI	Demandas
Polímero	Si un polímero está expuesto a radiación UV y condiciones ambientales, se fragmenta en partículas más pequeñas y comienza la formación de nanomateriales, lo que inicia el proceso de degradación química observable en el ambiente.	Si plástico está expuesto al clima entonces forma partículas de plástico.	<i>Relacionar la transformación química con las condiciones del sistema.</i>
Poliestireno	Si el poliestireno, un tipo de polímero, se encuentra expuesto a radiación UV y factores ambientales, se rompen enlaces químicos en sus cadenas de carbono, generando radicales que llevan a la formación de microplásticos y nanoplásticos.	Si plástico de poliestireno está expuesto al clima entonces forma microplástico.	<i>Enunciar que la degradación es producto de una transformación química que implica la ruptura de enlaces en la cadena polimérica.</i>
Radiación UV	Si los nanoplásticos se forman a partir de la degradación del poliestireno, pueden interactuar con la membrana de las células intestinales, atravesarla y acumularse dentro de la célula, donde pueden inducir efectos celulares como estrés y alteración de funciones.	Si el microplástico entra en contacto con el agua entonces se acumula en los órganos y se propaga a las venas.	<i>Enunciar las especies que participan en el proceso de degradación y bioacumulación en las células.</i>

Nanoplástico	Si los nanoplásticos se encuentran en contacto con la membrana celular de los enterocitos, las proteínas de endocitosis facilitan su internalización en endosomas, permitiendo que los nanoplásticos entren en el citoplasma y sean procesados por lisosomas.	Si nanoplástico entra en contacto con los alimentos entonces se acumula en los órganos	<i>Comprender que el microplástico y el nanoplástico difieren en tamaño y reactividad.</i>
Membrana celular	Si los nanoplásticos son internalizados por las células intestinales y no se degradan completamente, se acumulan en el citoplasma, lo que puede provocar estrés celular y afectar la función de los tejidos, constituyendo la base de la bioacumulación en el organismo.	Si plástico entra en contacto con agua entonces espaja en torrente sanguínea	<i>Reconocer que la fragmentación altera las propiedades químicas y biológicas del material.</i>
Celulas		Si microplásticos está en contacto con los alimentos entonces entran al torrente sanguíneo y se acumulan en los órganos	<i>Diferenciar la bioacumulación del simple contacto.</i>
Proteína		Si microplástico y nanoplástico interactúa con cuerpo humano entonces afecta lo sistema digestivo y obstruye las venas	<i>Entender que la interacción ocurre a nivel celular.</i>

Endosoma		Si nanoplástico interactúa con el cuerpo humano entonces se propaga en los órganos y la sangre.	<i>Reconocer que la acumulación intracelular puede generar efectos fisiológicos (estrés, inflamación, disfunción).</i>
Lisosoma		Si microplástico interactúa con el cuerpo humano entonces afecta los sistemas digestivo, respiratorio y el cerebro.	<i>Establecer relaciones causales integradas entre el medio ambiente y el organismo.</i>