

**LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE PROFESORES DE CIENCIAS EN FORMACIÓN AL
ABORDAR EL ESTUDIO DE NANOPARTÍCULAS DE ESPECIES DE COBRE MEDIANTE EL
APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS**

WENDY DAYANNA DUQUE ARANDA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C, COLOMBIA
2024**

**LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE PROFESORES DE CIENCIAS EN FORMACIÓN AL
ABORDAR EL ESTUDIO DE NANOPARTÍCULAS DE ESPECIES DE COBRE MEDIANTE EL
APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS**

WENDY DAYANNA DUQUE ARANDA

Tesis de maestría para optar por el título de Magíster en Docencia de la Química

Director. Mg. Diego Alexander Blanco Martínez

Grupo Didáctica y sus ciencias

Línea incorporación de la Educación Ambiental al currículo de ciencias

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C, COLOMBIA
2024**

Nota de aceptación

DIEGO ALEXANDER BLANCO MARTÍNEZ

Director

SANDRA SANDOVAL OSORIO

Evaluadora

DIANA PAOLA VARGAS DELGADILLO

Evaluadora

Bogotá, 2024

AGRADECIMIENTOS

El nombre que me representa no es únicamente mío. Yo soy y seré la unión de cada persona con la cual he compartido este espacio-tiempo en el que habito.

Agradezco a mi familia por su apoyo, su cariño y su confianza.

A Edwin, por encontrarme en medio de la adversidad, por todo el amor y la confianza puesta en mí, por ser un lugar seguro para mi alma, por permitirme fallar y brindarme espacios para ser y crecer a su lado. Deseo que en este y todos los demás universos nuestras almas puedan seguir habitando cada realidad juntas, afrontando la vida desde el amor.

A mi apreciado director, el profesor Diego Alexander Blanco por valorar y encaminar mis ideas, por siempre confiar en mis habilidades y recordarlas cuando en mi memoria no estaban presentes, por generarme un gran interés y amor por el conocimiento, por sus consejos y su preocupación en cada etapa, y por anteponer siempre mi bienestar en el proceso. Mi mayor admiración para él.

A mi amiga, Lina Daza, por su incondicionalidad, por haber sido luz en momentos sombríos y por motivarme a seguir estudiando. Agradezco a la vida el haberte encontrado en el camino y permitirnos ser un par de luciérnagas danzando en la oscuridad.

A mis amigas Dana, Rita y Laura por ser un espacio de serenidad, un lugar de apoyo al que siempre pude acudir para llenarme de amor, poesía, música y alegría. Les agradezco la confianza, las palabras de aliento y por celebrar cada paso del camino junto a mí. Mi admiración para cada una de ustedes, las llevaré siempre en mi corazón.

A mi amigo Johan Tobón por su paciencia, su compañía y su capacidad para ayudarme a ser más libre, a no temer y confiar en mí. Por celebrar mis logros como suyos y por motivarme en momentos difíciles.

Al profesor Giovanni y la ingeniera Alba por acompañarme en la búsqueda de nuevos aprendizajes, por su colaboración y disponibilidad siempre que la necesité, y por acercarme al mundo de la nanotecnología y sus aplicaciones.

A mis evaluadoras, las profesoras Sandra Sandoval y Diana Vargas, y a todas las personas que contribuyeron en la validación de los instrumentos diseñados, quienes con sus aportes lograron enriquecer esta investigación y me permitieron fortalecer los procesos de escritura y diseño.

A la Universidad Pedagógica Nacional, un lugar que he habitado por más de 7 años, en el cual he aprendido el arte de ser profesora, conocí personas maravillosas, reafirmé mi amor por la ciencia y pude ser realmente feliz. A mis compañeros de trabajos y proyectos, les agradezco su amistad y compañía en cada uno de los espacios habitados y les deseo un camino lleno de éxitos y nuevos aprendizajes.

A los compañeros y compañeras colegas que he conocido durante mi experiencia como profesora, quienes tuvieron siempre una palabra de aliento o un detalle en este proceso.

A todas las personas que he conocido.

A la vida y a cada uno de los sucesos, causalidades e improbabilidades que me permitieron habitar este universo.

A la música y la poesía por aligerar mi camino.

Y finalmente, a mí.

Me agradezco, aunque esto implique un acto de revolución hacía mí misma. Me agradezco por el esfuerzo y la dedicación, por la pasión, por el deseo de aprender y enseñar ciencias, por persistir y por haber llegado hasta aquí.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo General	7
3.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II	8
4. ANTECEDENTES.....	8
4.1. Desde la modelización y los modelos explicativos.....	8
4.2. Desde la estructura lógica de la química propuesta por Jensen	8
4.3. Desde la enseñanza de las nanopartículas.....	10
4.4. Desde la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)	11
5. MARCO REFERENCIAL	13
5.1. Modelos y modelización en Química.....	13
5.2. La estructura lógica de la Química desde Jensen.	16
5.3. Metodología Aprendizaje Basado en Proyectos.....	18
5.4. Nanopartículas.....	20
5.4.1. Síntesis de nanopartículas de cobre	20
CAPÍTULO III.....	24
6. MARCO METODOLÓGICO	24
6.1. Paradigma, enfoque y diseño metodológico	24
6.2. Participantes	24
6.3. Fases de la investigación.....	25
6.3.3.1 Instrumento 1 – Redes de Jensen.....	31
6.3.3.2 Instrumento 2 – Informe trabajo práctico de laboratorio.....	32
6.3.3.3 Instrumento 3 – Caracterización UV-Vis y DRX	32
6.3.3.4 Instrumento 4 – Exposición mecanismos de acción	33
6.3.3.5 Instrumento 5 – Infografía	33
CAPÍTULO IV	36
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
7.1. Caracterización de los participantes	36

7.2.	Prueba de entrada y caracterización de modelos explicativos iniciales	37
7.3.	Actividad 1 – Redes de Jensen.....	48
7.4.	Actividad 2 – Laboratorio de síntesis de nanopartículas de especies de cobre	
7.5.	Actividad 3 – Interpretación de espectros UV-Vis y Difractograma RX	81
7.6.	Actividad 4 – Mecanismos de acción de antibiosis de las nanopartículas.....	90
7.7.	Actividad 5 – Infografía	98
7.8.	Prueba de salida	106
7.9.	Desde la construcción de modelos explicativos	115
CAPÍTULO V		117
8.	CONCLUSIONES	117
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
10.	ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Tipos de modelización en Química.</i>	13
Tabla 2.	<i>Tipología de los modelos explicativos.</i>	14
Tabla 3.	<i>Niveles y dimensiones de la estructura lógica de la química.</i>	16
Tabla 4.	<i>Categorías de las preguntas del instrumento de caracterización e ideas previas.</i>	26
Tabla 5.	<i>Rúbrica para la caracterización de cada uno de los tipos de modelos explicativos de interés en la investigación.</i>	27
Tabla 6.	<i>Indicadores de logro para establecer el nivel de profundidad en el uso de un modelo explicativo.</i>	28
Tabla 7.	<i>Códigos asociados con cada modelo explicativo.</i>	29
Tabla 8.	<i>Etapas de la secuencia didáctica planteada desde el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).</i>	30
Tabla 9.	<i>Datos generales de la caracterización de los participantes.</i>	37
Tabla 10.	<i>Resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba inicial.</i>	47
Tabla 11.	<i>Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 1.</i>	53
Tabla 12.	<i>Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 2.</i>	57
Tabla 13.	<i>Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 3.</i>	61
Tabla 14.	<i>Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el Grupo 4.</i>	64
Tabla 15.	<i>Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 1.</i>	66

Tabla 16. <i>Rúbrica de evaluación para el desempeño del Grupo 1 en la actividad 2.</i>	71
Tabla 17. <i>Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el Grupo 2.</i>	73
Tabla 18. <i>Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el grupo 3.</i>	76
Tabla 19. <i>Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el Grupo 4.</i>	78
Tabla 20. <i>Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 2.</i>	80
Tabla 21. <i>Rúbrica de evaluación de la actividad 3 para el grupo 1.</i>	89
Tabla 22. <i>Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 3.</i>	90
Tabla 23. <i>Rúbrica de evaluación para la actividad 4.</i>	92
Tabla 24. <i>Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 4.</i>	98
Tabla 25. <i>Rúbrica de evaluación de las intervenciones finales de cada uno de los grupos.</i>	99
Tabla 26. <i>Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 5.</i>	105
Tabla 27. <i>Resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba final.</i>	114
Tabla 28. <i>Comparación entre los resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba inicial y final.</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Fases para el desarrollo de la metodología ABP.</i>	19
Figura 2. <i>Métodos de síntesis de nanopartículas metálicas.</i>	20
Figura 3. <i>Fases de la investigación.</i>	25
Figura 4. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 1 de la prueba inicial.</i>	38
Figura 5. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 2 de la prueba inicial.</i>	42
Figura 6. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 3 de la prueba inicial.</i>	45
Figura 7. <i>Red semántica para la identificación de modelos explicativos utilizados en la actividad 1.</i>	49
Figura 8. <i>Fragmento de la red conceptual realizada por el Grupo 1.</i>	50

Figura 9. <i>Red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 1.</i>	52
Figura 10. <i>Red conceptual realizada por el Grupo 2.</i>	55
Figura 11. <i>Red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 2.</i>	56
Tabla 12. <i>Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 2.</i>	57
Figura 12. <i>Red conceptual realizada por el Grupo 3.</i>	58
Figura 13. <i>Fragmentos de la red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 3.</i>	59
Figura 14. <i>Fragmento de la red conceptual realizada por el Grupo 4.</i>	62
Figura 15. <i>Fragmentos de la red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 4.</i>	63
Figura 16. <i>Montaje diseñado para la síntesis de nanopartículas de cobre.</i>	67
Figura 17. <i>Red semántica sobre las hipótesis de los participantes.</i>	68
Figura 18. <i>Red semántica para la fase de planificación.</i>	69
Figura 19. <i>Resultados de la actividad 2 del Grupo 1.</i>	71
Figura 20. <i>Resultados de la actividad 2 del Grupo 2.</i>	73
Figura 21. <i>Fragmento de los resultados de la actividad 2 del Grupo 3.</i>	75
Figura 22. <i>Resultados de la actividad 2 del Grupo 4.</i>	77
Figura 23. <i>Evidencias del proceso de lavado y centrifugado de las nanopartículas en suspensión obtenidas por los participantes.</i>	80
Figura 24. <i>Espectro UV-Vis de una muestra de nanopartículas sintetizadas durante el desarrollo de esta investigación.</i>	82
Figura 25. <i>Red semántica de las interpretaciones realizadas por los participantes sobre el espectro UV-Vis.</i>	83
Figura 26. <i>Difractograma RX de una muestra de nanopartículas sintetizada por la investigadora durante la fase de planeación de esta investigación.</i>	86
Figura 27. <i>Resultado obtenido por el software X'pert HighScore Plus para el análisis de la muestra de nanopartículas analizada por Difracción de Rayos X.</i>	87
Figura 28. <i>Red semántica de las interpretaciones realizadas por los participantes sobre el difractograma.</i>	88
Figura 29. <i>Procedimiento y resultados de la prueba de difusión en disco de Kirby-Bauer para establecer la actividad antimicrobiana de una muestra de nanopartículas de cobre.</i>	91
Figura 30. <i>Material desarrollado por el Grupo 1 en la actividad 4.</i>	93
Figura 31. <i>Material desarrollado por el Grupo 2 en la actividad 4.</i>	95
Figura 32. <i>Material desarrollado por el Grupo 3 en la actividad 4.</i>	96
Figura 33. <i>Material desarrollado por el Grupo 4 en la actividad 4.</i>	97
Figura 34. <i>Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 1.</i>	100

Figura 35. <i>Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 2.</i>	101
Figura 36. <i>Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 3.</i>	103
Figura 37. <i>Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 4.</i>	104
Figura 38. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 1 de la prueba final.</i>	106
Figura 39. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 2 de la prueba final.</i>	109
Figura 40. <i>Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 3 de la prueba final.</i>	112

INTRODUCCIÓN

El estudio acerca de la síntesis y caracterización de nanopartículas metálicas, además de sus aplicaciones se ha hecho cada vez más necesario, debido a las propiedades y usos en los cuales se ha evidenciado su potencial tanto en áreas médicas, como tecnológicas, por lo que, la enseñanza de las nanopartículas se considera actualmente un tema de gran interés. De acuerdo con diversos autores, se ha comprobado la efectividad de las nanopartículas (NPs) metálicas, entre estas, las de cobre (CuNPs), “como agentes antimicrobianos de amplio espectro contra bacterias, hongos y virus, debido a su gran relación superficie/ volumen y estructura cristalina” (Pariona et al, 2018, p. 110). Esto hace que el abordaje de esta temática se presente como una oportunidad de enseñanza desde una educación integral u holística, por lo que, se presume que un enfoque como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), puede ser fundamental en la comprensión y explicación de esta temática. Además, se considera que el desarrollo de esta investigación puede influir en la construcción y/o profundización de modelos explicativos en niveles conceptuales moleculares y eléctricos en la dimensión energía.

De acuerdo con lo anterior, se configuró el siguiente documento, el cual contiene cinco secciones o capítulos. En el primer capítulo se aborda, el problema de investigación, relacionado con los modelos explicativos, el discurso químico y la necesidad de utilizar enfoques integrales en la enseñanza de la química; además de la formulación de la pregunta problema, los objetivos de investigación y la justificación desde el aporte a las líneas de investigación. En el segundo capítulo se describen los antecedentes del problema; donde se evidencia que no existen investigaciones que relacionen todas las variables de interés de esta investigación, sin embargo, se plantean antecedentes desde los modelos explicativos, la estructura lógica de la química, la enseñanza de nanopartículas y el uso de la metodología ABP para la enseñanza de las ciencias; además del marco referencial, donde se exponen los modelos explicativos, las dimensiones y niveles conceptuales propuestos por Jensen (1998) para establecer una estructura lógica en la enseñanza de la química; la definición, síntesis, caracterización y actividad antimicrobiana de nanopartículas de especies cobre, encontradas en la literatura y las características del ABP.

El tercer capítulo describe el marco metodológico, es decir, el tipo y enfoque que rige el proceso de investigación, además de las fases de investigación, los participantes, los instrumentos de recolección de datos y las rúbricas de análisis de estos. Para el desarrollo de la presente investigación se propuso un enfoque metodológico de tipo mixto, el cual se desarrolló en cuatro

fases de investigación: 1) planeación; 2) caracterización de los participantes; 3) diseño y aplicación; 4) evaluación. Dentro de los instrumentos de recolección se diseñaron criterios de análisis a partir de los referentes conceptuales asociados a los modelos explicativos entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molecular y eléctrico; además del uso de entrevistas semiestructuras y la observación de las sesiones.

En el cuarto capítulo se describen los resultados y el análisis de estos, desde la prueba inicial, cada una de las actividades de la secuencia didáctica, la prueba final y la construcción de modelos explicativos. Finalmente, en el quinto capítulo se describen las conclusiones de la investigación cimentadas en los objetivos que orientaron este trabajo.

CAPÍTULO I

1. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los avances científicos y tecnológicos siguen siendo de gran importancia para el desarrollo de la sociedad en aspectos ambientales, médicos y en otras áreas del saber, sin embargo, el acceder a contenidos actualizados en la enseñanza de las ciencias, incluso a nivel universitario puede llegar a ser complejo cuando las temáticas que se desean abordar requieren de una construcción de conocimiento desde la interdisciplinariedad o la multidisciplinariedad, como lo es la enseñanza de la nanotecnología y sus implicaciones, pues requiere del conocimiento e implementación de métodos de síntesis, caracterización y estudios referentes a su funcionalidad que abordan varias disciplinas, que en ocasiones tampoco pueden llevarse a la práctica en las asignaturas de programas dirigidos a la formación de profesores de Química, como lo es la microbiología, la cual es fundamental para comprender la acción antimicrobiana de las nanopartículas (Vásquez-Muñoz y Takeuchi, 2017).

Por otra parte, de acuerdo con Álzate Betancourt, (2020) la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es un problema paralelo al desarrollo del conocimiento científico, por lo que “las concepciones y las prácticas profesionales del profesorado y sus implicaciones en el aprendizaje se ven influenciadas en parte por los conocimientos que posee, pero además por el diseño curricular que elabora para enseñar dichos conocimientos” (p. 1). De esta forma, la problemática no solo se centra en el déficit en la enseñanza de temáticas actuales, sino, además, en la pertinencia de un enfoque didáctico para abordar de la mejor manera dicha temática, por lo que, se hace imprescindible recurrir al entendimiento de los fenómenos, teorías y conceptos que permiten comprender el universo de las nanopartículas, y de esta forma plantear estrategias que permitan acercar a la población a un conocimiento científico actualizado.

Asimismo la química moderna busca comprender las relaciones entre lenguaje químico y modelo o teoría, lo que requiere del dominio de varios campos conceptuales de la química, a menudo, recurriendo a la dimensión composición/estructura, para interpretar, explicar y predecir el comportamientos de las sustancias y los sistemas químicos (Álzate Cano, 2007), lo que representa todo un reto para la didáctica de la Química, puesto que se necesita que los profesores desarrollen el nivel conceptual de los estudiantes, para que puedan llegar a predecir y dar explicaciones adecuadas a un objeto de estudio particular.

En este sentido, Sánchez-Sánchez, (2009) afirma que, “en el campo de la enseñanza de las ciencias, se han detectado dificultades en la lógica de la circulación de los discursos alrededor de los conceptos y modelos en química” (p.438). Además, de acuerdo con Jensen (1998), la enseñanza de la química a menudo se encuentra reducida a una explicación desde la dimensión composición/estructura y el nivel molar, por lo que, pocas veces se intenta desarrollar el discurso desde un nivel molecular y eléctrico o desde una dimensión energética o temporal, lo que genera vacíos conceptuales y errores postinstruccionales, y no permite que se desarrolle el discurso químico a profundidad, siguiendo una estructura lógica, lo que podría limitar el análisis, entendimiento, explicación y enseñanza de fenómenos químicos. Esto deriva en que, si los docentes de áreas como la química no desarrollan un manejo adecuado del discurso desde niveles conceptuales de mayor profundidad podrían incurrir en enseñar desde un aspecto superficial.

Ahora bien, al recurrir a explicaciones que requieran el dominio de varios campos del saber, y específicamente, para el estudio de la nanotecnología y sus mecanismos de acción, por ejemplo, en la actividad antimicrobiana, se hace fundamental recurrir a metodologías activas en las cuales se propicie un ambiente interdisciplinar. Sin embargo, de acuerdo con Montesdeoca-Esponda et al. (2020), a pesar de que en la enseñanza primaria y secundaria se han ido introduciendo metodologías como el aprendizaje por descubrimiento, el Aprendizaje Basado en Proyectos o el aprendizaje cooperativo; es común que en la educación superior siga predominando un modelo de clases magistrales, en la que se exponen los contenidos y posteriormente se realiza la preparación para una actividad o examen.

Por consiguiente, se plantea un estudio cualitativo, con el objetivo de analizar la construcción de modelos explicativos en torno al estudio de las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas de especies de cobre, su síntesis, caracterización y propiedades como agentes antimicrobianos, desde un nivel molar, molecular y eléctrico del discurso, enfocados en la dimensión composición/estructura y energía propuestos por Jensen. Con la finalidad de contribuir al campo de estudio de la didáctica de las ciencias, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo un grupo de profesores de ciencias en formación construye modelos explicativos desde un nivel molar, molecular y eléctrico del discurso entre las dimensiones estructura/composición y energía, al abordar el estudio de nanopartículas de especies de cobre mediante una metodología ABP?

2. JUSTIFICACIÓN

La nanotecnología se presenta como un campo de investigación novedoso e importante para el desarrollo de tecnologías y materiales de interés en áreas como la salud, la alimentación, la electrónica y nuevas fuentes de energía, por lo que, en la actualidad ya se reconocen productos que contienen nanomateriales y se presume que dicha tendencia continuará aumentando (Vásquez-Muñoz y Takeuchi, 2017). Por lo tanto, se hace necesaria la enseñanza de la nanotecnología en el nivel de educación superior, dirigida a docentes en formación, con el fin de favorecer el aprendizaje de conceptos y métodos asociados a la síntesis, caracterización y aplicaciones de las nanopartículas. De acuerdo con Vargas-Solano et al., (2017) “el diseño de materiales que capacitan al alumno para que desarrolle capacidades, destrezas y proponga metodologías de síntesis e incorporación de nanomateriales debe atender una necesidad de investigación o comercial y contribuir al desarrollo tecnológico” (p. 44).

Ahora bien, la enseñanza de la química contextualizada desde la historia y la epistemología permite que los educandos desarrollen un pensamiento crítico, logrando una mayor claridad y profundidad en el entendimiento de problemas científicos, buscando analizar el significado de las teorías, representaciones y modelos en la explicación de un fenómeno (Matthews, 1994 citado en Gómez, 2021). Por lo que, ahondar en estrategias de enseñanza cimentadas desde la historia y la epistemología, como lo son los niveles y dimensiones del discurso químico propuestos por Jensen, es sumamente importante y necesario para construir conocimientos significativos en torno a las ciencias. De acuerdo con otros autores, como Mora y Parga (2005) “un profesor en formación debe ser preparado para saber la materia a enseñar y los problemas que originaron la construcción de los conocimientos científicos, para entender cómo han llegado a articularse como cuerpos de conocimiento” (p.166).

Resulta entonces indispensable enseñar para comprender a profundidad las teorías científicas que enmarcan una temática, y cómo estas cambian a medida que el conocimiento científico avanza, por lo que se requiere no solo conocer el origen de los conceptos enseñados, sino además su significado actual, y las problemáticas tanto científicas como didácticas que se relacionan a un concepto (Mora y Parga, 2005). De esta manera, es justificable contextualizar la enseñanza de las nanopartículas desde los niveles molar, molecular y eléctrico del discurso, enfocados en la dimensión composición/ estructura y energía, para contribuir a un entendimiento

más profundo sobre la estructura, propiedades y aplicaciones de las nanopartículas, puesto que, interrelacionar los niveles y dimensiones del discurso químico es la base de los postulados fundamentales en química, y permite definir el cómo y el por qué se hace química de la manera en que se hace (Jensen, 1998).

Por otra parte, debido a que la didáctica de las ciencias se encuentra en constante investigación, se pretende que las estrategias de enseñanza se actualicen a los modelos o enfoques que van surgiendo, y se posicionan como prometedores, entre estos, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) que se define, según Causil y Rodríguez (2021), como:

“una metodología o estrategia de enseñanza - aprendizaje, donde los estudiantes protagonizan su propio aprendizaje, desarrollando un proyecto de aula que permita aplicar los saberes adquiridos sobre un producto o proceso específico, poniendo en práctica todo el sistema conceptual para resolver problemas reales” (p. 110)

Además, para Martínez Salcedo (2022), “el propósito de la estrategia ABP es crear nuevas prácticas educativas que logren propiciar en los estudiantes la relación con el mundo real desde una perspectiva amplia y multidisciplinaria, e igualmente que dicha perspectiva genere el desarrollo de competencias” (p. 297). Por ende, cuando se busca abordar temáticas que requieren bases conceptuales de diversas disciplinas, como lo es la enseñanza de la nanotecnología, resulta fundamental implementar metodologías de enseñanza activa, basadas en grupos interdisciplinarios, en los que se pueda generar un ambiente propicio para la construcción de conocimientos desde la integración de áreas.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Analizar la construcción de modelos explicativos a nivel molar, molecular y eléctrico entre las dimensiones estructura/composición y energía, de un grupo de profesores de ciencias en formación al abordar el estudio de nanopartículas de especies de cobre mediante una metodología ABP.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los modelos explicativos iniciales de los profesores en formación entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar, molecular y eléctrico, al abordar situaciones relacionadas con el estudio de nanopartículas.
- Determinar la actividad antimicrobiana de nanopartículas de especie de cobre, sintetizadas y caracterizadas durante el desarrollo de una secuencia didáctica fundamentada en una metodología ABP.
- Establecer cómo los profesores en formación construyen modelos explicativos entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar, molecular y eléctrico, al abordar el estudio de nanopartículas de especies de cobre desde el ABP.

CAPÍTULO II

4. ANTECEDENTES

En el desarrollo de este trabajo de investigación se realizó una búsqueda documental en diferentes bases de datos como Scielo, Dialnet y Google Academic desde el ámbito internacional, nacional y local, que permitan comprender como se han ido implementando estrategias en el ámbito de la estructura lógica de la Química, los modelos explicativos, la enseñanza de las nanopartículas y el uso de la metodología ABP. Por lo tanto, a continuación, se exponen los antecedentes más significativos desde el enfoque didáctico y el campo disciplinar objeto de investigación, teniendo en cuenta el objetivo general, la metodología y los aportes a esta investigación.

4.1. Desde la modelización y los modelos explicativos

A nivel nacional, en Barranquilla, Colombia se destaca la investigación de Amador-Rodríguez et al. (2021), titulada Promover Modelos Explicativos Sobre Las Interacciones Químicas Del felodipinocitocromo P450: Una Propuesta Didáctica Basada En La Modelización. Este trabajo investigativo se enmarca en una metodología cualitativa desarrollada en varias etapas entre las cuales se encuentran la construcción de una Situación Problema Contextualizada (SPC), la implementación en un grupo de 81 estudiantes de medicina de la Universidad del Norte y el análisis de resultados, recurriendo a la triangulación. Dentro de las conclusiones más importantes de resalta el aumento gradual en la formulación de modelos explicativos, puesto que, al iniciar únicamente un 2,46% de los estudiantes formulaban modelos explicativos, mientras que, al finalizar la cifra aumentó a 82,7%. Además, los autores señalan que, al estructurar la enseñanza en torno a modelos científicos de la química se posibilita la comprensión de un saber químico que permita comprender cómo funciona el mundo, realizando explicaciones similares a las que realiza un científico, lo que influye en su capacidad para argumentar y representar.

4.2. Desde la estructura lógica de la química propuesta por Jensen

Dentro de los antecedentes recopilados a nivel internacional, es importante mencionar la tesis doctoral *Campo conceptual composición/estructura en química: tendencias cognitivas etapas y ayudas cognitivas* de Alzate Cano (2007), desarrollada en la Universidad de Burgos, en España.

En este estudio, la autora se basa en la dimensión composición/estructura desde los niveles molar y molecular, para abordar la teoría de campos conceptuales de Vergnaud, relacionándolo con la epistemología de Bachelard, estudiando la influencia de estos enfoques en la enseñanza de conceptos como sustancia, elemento, mezcla, entre otras. Para esto, utiliza un enfoque cualitativo de observación participante, encontrando, a partir de los resultados que, “la adquisición progresiva y diferencia del significado para los conceptos abordados, podría ser una posible solución a las dificultades y confusiones que pueden presentarse en la comprensión de los fenómenos estudiados” (p. 207), por lo que, la autora concluye que, en la medida en que existe un progreso conceptual, una mediación adecuada por parte del profesor y un adecuado uso del lenguaje químico, el estudiante puede tomar distancia de explicaciones empíricas inmediatas, confusas y poco claras, y de esta manera aproximarse al dominio de nuevos significados (Alzate Cano, 2007).

A nivel nacional, es pertinente mencionar el trabajo de tesis de maestría titulado *Propuesta curricular para la enseñanza de la química del carbono desde la aproximación histórico-epistemológica* de Jensen de Alzate Betancur (2012), realizada en la Universidad Nacional de Colombia. En este trabajo, el autor presenta un diseño curricular de seis sesiones, para la enseñanza de la química orgánica desde la perspectiva histórico-epistemológica de Jensen, dirigida a estudiantes de grado décimo. Para esto, el investigador elabora dos redes de Jensen, una enfocada a la historia y epistemología de la química orgánica desde la teoría estructural, y otra enfocada en los conocimientos asociados al átomo de carbono; adicionalmente, se proponen instrumentos como diarios de campo, matrices de valoración y entrevistas. Si bien, el autor no llevó a cabo la aplicación de las actividades, él observa una articulación pertinente entre la propuesta de Jensen, y los objetivos de cada una de las sesiones; además, Alzate Betancur (2012) afirma que “abordar la enseñanza desde la historia y la epistemología contribuye a la disminución de una visión ingenua de la ciencia... reconociendo la importancia de los sistemas representacionales elaborados en la construcción de conocimientos”. (p. 37)

En los trabajos e investigaciones consultadas en este apartado, se resalta la importancia de abordar la enseñanza de la química desde una perspectiva histórico-epistemológica, y en el caso de las dimensiones de Jensen, a partir de la construcción del discurso químico. Estos trabajos son pertinentes en el desarrollo de la didáctica de las ciencias, por lo que, permiten indagar en problemáticas asociadas a la comprensión de conceptos, además de reconocer estrategias que pueden influir de manera significativa en el abordaje, comprensión y enseñanza de los conceptos y modelos en química. De esta manera, las investigaciones presentadas sirven de base para el

diseño y estructuración de instrumentos y actividades encaminadas en la caracterización y el desarrollo del discurso químico.

4.3. Desde la enseñanza de las nanopartículas

A nivel internacional, se resalta la investigación *Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología* de Martínez et al., (2015), realizada en México. En este proyecto, los investigadores presentan un método de síntesis de nanopartículas de plata, que se puede implementar de manera sencilla, utilizando reactivos de fácil acceso, como el ácido ascórbico, el citrato de potasio, el hidróxido de sodio y el nitrato de plata. Adicionalmente, caracterizaron las muestras por espectroscopía de Rayos X y espectrofotometría UV-Vis, demostrando que, “la plata a nanoescala presenta una coloración diferente a la conocida en escala macroscópica, debido a la resonancia del plasmón de superficie en nanopartículas metálicas”. (Martínez et al., 2015).

Por otra parte, en la ciudad de Tijuana, Baja California, México, los autores Vázquez-Muñoz y Takeuchi (2017) desarrollaron una propuesta de investigación para la *Enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria: teoría y práctica* donde implementaron actividades experimentales, para sintetizar nanopartículas de plata, y medir su actividad antimicrobiana en aguas residuales, de manera sencilla, es decir, utilizando materiales y reactivos de fácil acceso. La implementación tuvo una duración de 3 meses, con sesiones semanales de aproximadamente 2 horas, en la que, los estudiantes recibían charlas, investigaban, realizaban talleres tanto teóricos como prácticos, e incluso visitaron las instalaciones del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM. De este modo, los autores lograron establecer que las muestras tratadas con nanopartículas de plata (AgNPs) presentando una considerable disminución en la carga microbiana. Concluyendo que, “el trabajo de investigación fomenta que los estudiantes se cuestionen acerca de la importancia de las nuevas tecnologías, incluyendo su posible impacto negativo en el entorno” (p. 48).

Por último, a nivel nacional se menciona el trabajo titulado *Caracterización de habilidades de pensamiento crítico mediadas por la química en contexto en relación con la adsorción de Hg^{2+} sobre $\alpha-Fe_2O_3$ -nano soportadas en matriz biopolimérica* desarrollado por Pérez y Pérez (2023) en la Universidad Pedagógica Nacional. La investigación se llevó a cabo con profesores en formación, y se concluyó que la estructuración de una actividad experimental permitía que los participantes se acercaran a algunas técnicas o métodos de análisis, fomentando así la

comprensión y el manejo de conceptos asociados a la nanotecnología, demostrando además un desarrollo en la capacidad para pensar críticamente, analizar distintos fenómenos e interpretar información. Adicionalmente, los autores lograron sintetizar nanopartículas de hierro mediante el método de coprecipitación; las cuales fueron caracterizadas por medio de difracción de rayos X y espectrofotometría UV-Vis y funcionalizadas con ácido ascórbico, para estudiar la adsorción del ion mercurio (II) en procesos de descontaminación del agua.

Las investigaciones que se exponen en este apartado contribuyen de manera significativa en el conocimiento de técnicas y procesos para la síntesis, caracterización y estudio de la actividad antimicrobiana de nanopartículas metálicas; además de la importancia y pertinencia de incluir esta temática en la enseñanza, en diferentes niveles escolares y desde diferentes enfoques y/o metodologías.

4.4. Desde la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

Desde el ABP, a nivel internacional, se expone una investigación llevada a cabo en Guayaquil, Ecuador, titulada como *Aplicación del método de aprendizaje basado en proyectos (ABP) en una institución de educación superior* y realizada por Castro y Ramos (2016). Esta investigación se aplicó en un grupo de estudiantes de diferentes cursos de estadística y probabilidades, por lo que la población estuvo conformada por 202 participantes. El autor realizó un análisis estadístico con el software SPSS con la finalidad de establecer una correlación entre una prueba inicial aplicada antes de la intervención y una prueba final aplicada después de la intervención. Asimismo, concluyó que el ABP contribuye a mejorar el rendimiento académico, además genera que los estudiantes se involucren y motiven con el objetivo de plantear soluciones a un problema

A nivel nacional se rescata el trabajo titulado *Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): experimentación en laboratorio, una metodología de enseñanza de las Ciencias Naturales* desarrollado por Causil y Rodríguez (2021) en la Escuela Normal Superior Santa Teresita ubicada en el municipio de Loricá (Córdoba, Colombia). En esta investigación participaron 65 estudiantes de básica secundaria, los cuales fueron divididos en un grupo experimental y otro de control, donde aplicaron una enseñanza tradicional. Para el análisis utilizaron cuestionarios que fueron analizados estadísticamente y concluyeron que, el grupo de estudiantes donde se aplicó el ABP mostraron niveles más altos de integración conceptual y mejores resultados en las competencias evaluadas, además se fomentó la colaboración, el trabajo en grupo y el desarrollo

de habilidades emocionales. Finalmente, los autores mencionan que “la influencia de los proyectos y la experimentación, en el proceso de aprendizaje... brinda herramientas a la forma de interpretar, construir e integrar los conceptos” (Causil y Rodríguez, 2012, p.122)

Por otra parte, a nivel local, en la Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia) se menciona el trabajo de maestría titulado *El ABP como alternativa metodológica para la cualificación de las prácticas de enseñanza de Fundamentos de Química* realizado por Valbuena Leguizamo (2016). Esta investigación fue aplicada en un grupo de estudiantes de la Universidad Distrital del Programa de Gestión Ambiental y Servicios Públicos, utilizando como enfoque la investigación-acción. Entre los resultados más destacables se encuentra “el aprendizaje vinculado a interacciones sociales, concepciones previas y desarrollo de pensamiento crítico” (Valbuena Leguizamo, 2016, p.42), además, la autora afirma que es fundamental que los procesos de evaluación formativa se encuentren fundamentados en la retroalimentación, la autoevaluación y la coevaluación, pues esto permite fortalecer continuamente el proceso de aprendizaje.

Las investigaciones descritas en este apartado constituyen una base importante para la construcción, estructuración y justificación de elegir un enfoque como el ABP, puesto que, ha resultado satisfactorio para mantener la motivación en los estudiantes, relacionando diferentes disciplinas que permiten establecer un marco pedagógico integral, interesante y holístico para abordar un proceso de enseñanza-aprendizaje.

5. MARCO REFERENCIAL

En este apartado se presenta el marco referencial en el cual se exponen los fundamentos conceptuales que sustentan este trabajo de investigación, entre estos, se incluye la modelización y los modelos explicativos en química, los niveles y dimensiones de la estructura lógica del discurso químico, el estudio de nanopartículas desde su síntesis hasta sus usos como agentes antimicrobianos, y finalmente la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).

5.1. Modelos y modelización en Química

El término “modelo” puede ser considerado como una palabra polisémica que apela al pensamiento abstracto e intenta relacionarse con la “realidad” (Izquierdo Aymerich y Merino Rubilar, 2009). Una definición concreta y pertinente que se resalta es la de Giere (1992):

“Un modelo es cualquier representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema estudiado califica como modelo teórico: no solo los modelos altamente abstractos, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, las redes, las analogías... siempre que habiliten a describir, explicar, predecir e intervenir” (citado en Adúriz-Bravo, 2010, p. 248)

De acuerdo con Chamizo (2006) los modelos poseen varias características, entre las que destaca que: “son representaciones, son instrumentos, son analogías con la realidad, son diferentes de la realidad, se construyen, se desarrollan de manera iterativa a lo largo de la historia, deben ser aceptados por la comunidad científica y pueden ser de dos tipos: icónicos y conceptuales” (pp.476-77)

Por otro lado, la modelización puede concebirse como un proceso en el que se producen, construyen o manipulan modelos científicos para promover “modelos científicos escolares” los cuales se “generan” gracias a modelos anteriores mediante el uso de analogías y otros procesos intelectuales (Díaz Guevara et al., 2019). De acuerdo con Amador-Rodríguez et al., (2021) en las investigaciones que giran en torno a la modelización se puede establecer que este proceso de modelización puede ser expresivo, exploratorio, experimental, evaluativo y cíclico, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de modelización en Química.

Modelización	Tipo	Característica
	Expresiva	Los estudiantes describen o explican eventos mediante la formulación de modelos existentes o nuevos.
	Exploratoria	Los estudiantes indagan las características de un modelo existente participando de este y observando sus efectos.
	Experimental	Los estudiantes formulan hipótesis a partir de modelos y los ponen a prueba.
	Evaluativa	Los estudiantes comparan modelos alternativos que explican el mismo fenómeno, evalúan sus ventajas y limitaciones y eligen el más apropiado.
	Cíclica	Los estudiantes participan en ciclos completos de modelización.

Nota. Tomada de Amador-Rodríguez et al., 2021, p. 1380.

Según Amador-Rodríguez et al., (2021) las explicaciones tanto de los científicos como de los estudiantes son la representación verbal de modelo adecuados que describen algún fenómeno. Por ende, tanto en actividades científicas como escolares se construyen modelos que pueden reconstruirse para establecer argumentos sobre los fenómenos que se estudian. Esto implicaría que las explicaciones que generan los científicos pueden constituir la base de las explicaciones generadas en un contexto escolar. De acuerdo con esto, Gilbert et al, (2004, citado en Amador-Rodríguez et al., 2021) propone una tipología de modelos explicativos científicos, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Tipología de los modelos explicativos.

Modelo explicativo	Pregunta a explicar	Característica
Intencional	¿Cuál es el propósito por explicar un fenómeno?	La explicación dada incluye una declaración del propósito que se aborda y otorga una idea de la importancia del fenómeno que se quiere explicar. En la explicación proporcionada se manifiesta el origen, el alcance y los límites del fenómeno. En relación con la enseñanza de las ciencias, es una justificación de las

		acciones realizadas en la actividad científica escolar por los estudiantes.
Descriptiva	¿Cuáles son las propiedades del fenómeno?	Es un resumen de las medidas o características de las partes que componen al fenómeno. Un fenómeno que aparentemente no cambia se le determina reiteradamente un valor o característica, el cual será tan cierto como el instrumento lo permita. En relación con la enseñanza de las ciencias, es una aclaración del significado del fenómeno estudiado por los estudiantes en la actividad científica escolar.
Interpretativa	¿De qué se compone el fenómeno?	Son declaraciones no solo sobre la naturaleza del fenómeno sino también sobre cómo es su distribución en el espacio y cómo esa distribución cambia con el tiempo. En otras palabras, los estudiantes recurren a la teoría para explicar el fenómeno estudiado.
Causal	¿Por qué el fenómeno se comporta como lo hace?	Es la formulación de un mecanismo explicando el comportamiento observado a través de la operación de causa y efecto en las entidades de las cuales está compuesto el fenómeno. Es decir, si el estudiante explica el fenómeno por medio de la causalidad: el fenómeno sucede ya que una causa puede producir un evento o varios.
Predictiva	¿Cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones específicas?	Una predicción significa anticipar el comportamiento del fenómeno a futuro, partiendo de la idea que será diferente a uno conocido, pero los modelos construidos permiten tomar decisiones, por ejemplo, generar una explicación.

Nota. Tomada de Amador-Rodríguez et al., 2021, p. 1380.

En la Tabla 2 se recopila una tipología de cinco modelos explicativos, los cuales se reconocen desde el tipo de pregunta guía de permiten abordar y las características de cada uno, lo que permite identificar en qué contextos se puede utilizar un modelo específico o cuál es el más pertinente. Reconocer los modelos explicativos científicos permite que se pueda contextualizar el modelo que se desea construir con los estudiantes, lo que garantiza un aprendizaje de calidad. Sin embargo, se hace necesario que las explicaciones que construyen los docentes de ciencias en formación se enmarquen en niveles y dimensiones conceptuales acorde con el fenómeno de estudio, para que, de esta manera no se generen explicaciones superficiales, por ende, se recurre a la estructura lógica de la química de Jensen, para comprender cómo están relacionados los niveles y dimensiones del discurso químico.

5.2. La estructura lógica de la Química desde Jensen.

En el campo de la didáctica de las ciencias y en particular de la química, se plantean interrogantes con respecto al qué, cómo y para qué enseñar en química, por lo que, en este apartado se resalta la importancia de la perspectiva histórico-epistemológica de Jensen, desde sus bases conceptuales. De acuerdo con Alzate Betancur (2012), Jensen aboga por responder al cuestionamiento de qué y cómo enseñar en química, y para esto “propone un orden lógico al discurso químico sustentado desde la historia y la epistemología... bajo el interrogante ¿tiene la química una estructura lógica?, llegando a formular una red de clasificación para facilitar el aprendizaje y la enseñanza de la disciplina”. (Alzate Betancur, 2012, p. 11)

Es así como, en 1998, Jensen, expone que los conceptos y modelos utilizados en química se pueden clasificar en nueve categorías, las cuales derivan de relacionar tres dimensiones de la estructura lógica de la química: *dimensión composición y estructura*, *dimensión energética* y *dimensión temporal*; en función de tres niveles conceptuales: *nivel molar*, *nivel molecular* y *nivel eléctrico*. (Jensen, 1998). En la Tabla 3, se muestran las nueve categorías establecidas por Jensen y la relación que existen entre estas.

Tabla 3.

Niveles y dimensiones de la estructura lógica de la química.

Niveles conceptuales	Dimensiones		
	Composición y estructura	Energía	Tiempo
Molar	1. Composición relativa de sustancias puras simples y compuestas, soluciones y mezclas (estado, color, forma cristalina, etc.).	4. Entropías calorimétricas y calores de formación. Energías libres y constantes de equilibrio.	7. Leyes de velocidad experimentales. Parámetros experimentales de Arrhenius y/o entropías y calores de activación.
Molecular	2. Fórmulas absolutas y estructurales. Racionalización de alomorfos como variaciones en la composición absoluta	5. Interpretación de calores de formación en términos de calores de atomización, energías promedio de enlace, etc.	8. Mecanismos de reacción molecular. Visión molecular de entropías de activación y complejos activados.

	(polímeros) o en la estructura (isómeros).	Mecánica molecular.	
Eléctrico	3. Fórmulas electrónicas. Variaciones en la composición electrónica o nuclear (iones e isótopos) o en la estructura (estados excitados).	6. Interpretación de espectros. Cálculo de calores de atomización, entropías espectroscópicas, etc.	9. Mecanismos de reacción iónica y fotoquímica. Efectos isotópicos. Cálculo de energías de activación. Índices de reactividad electrónica.

Nota: Tomado y traducido de Jensen, 1998, p. 680.

Por otra parte, según Alzate Betancur (2012) “entre estos niveles existen tres revoluciones científicas vistas desde diferentes episodios históricos que dieron origen a distintos conceptos y teorías con el objetivo de describir nuevos fenómenos que ya no eran posibles explicar con las concepciones existentes hasta ese momento”. (p. 12).

Por lo que, en su propuesta, Jensen establece una estructura lógica general de la química al estudiar la posible interrelación de los conceptos y modelos teóricos que hacen parte de este campo específico del saber. De acuerdo con la clasificación de Jensen (1998), a continuación, se describen cada una de las dimensiones lógicas desde los tres niveles conceptuales:

Dimensión de composición/estructura: en esta dimensión se pueden dar explicaciones desde el nivel molar, en cuanto al estado, el color, la forma cristalina, entre otras; mientras que, desde el nivel molecular, haciendo referencia a las fórmulas absolutas y estructurales; y finalmente, desde el nivel eléctrico, abordando las variaciones en la composición electrónica o nuclear.

Dimensión energética: en esta dimensión se incluyen, desde el nivel molar, conceptos como entropías, energía libre, constantes de equilibrio y calores de formación; mientras que, desde el nivel molecular, se enfatiza en la interpretación de la entropía y de dichos calores de formación, a partir de las energías medias de enlace. Finalmente, a nivel eléctrico, se encuentra el cálculo de energías con base en la estructura electrónica, además de la interpretación de espectros.

Dimensión temporal: en esta dimensión se incluyen las leyes experimentales de tasas, desde el nivel molar; los mecanismos de reacción molecular, desde el nivel molecular; y los mecanismos de reacción iónico y fotoquímicos, desde el nivel eléctrico.

Finalmente, Jensen establece que es pertinente que las explicaciones sobre los fenómenos químicos no sean explicadas únicamente desde la dimensión composición/estructura, y el nivel molar, pues esto puede generar vacíos conceptuales en la enseñanza, por lo que, el menciona que es posible conectar los tres niveles del discurso químico. Sin embargo, debido a que suelen emplearse los postulados de manera más empírica, rara vez se logra desarrollar el discurso en los niveles y dimensiones más específicos. (Jensen, 1998)

Se pretende que, al abordar las dimensiones composición/estructura y energía desde los niveles molar, molecular y eléctrico, se construyan nuevos “niveles de profundización” de los diversos modelos explicativos utilizados por los participantes, lo que puede influir en abordar la temática de las nanopartículas de una manera integral, a partir del conocimiento específico de técnicas de síntesis, caracterización y análisis de la actividad antimicrobiana. Para esto, se requiere propiciar un ambiente educativo y trabajo interdisciplinar por lo que, se recurre a la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos, la cual se describe en el siguiente ítem.

5.3. Metodología Aprendizaje Basado en Proyectos

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) o Project-Based Learning (PBL) puede ser entendido como una metodología que surge a principios del siglo XX impulsada por William Heart Kilpatrick como una crítica a la enseñanza tradicional, dejando de lado la enseñanza por asignaturas y reforzando la idea de que el conocimiento se construye de forma experiencial (López de Sosoaga et al., 2015) por lo que, el ABP se establece a partir de ideas constructivas, las cuales tienen como base algunas tendencias psicológicas y educativas desarrolladas por Piaget, Ausubel, Vygotsky, entre otros (Estalayo et al., 2021).

Para otros autores (Blank,1997; Harwell,1997; y Martí, 2010), “el ABP es un modelo de aprendizaje con el cual los estudiantes trabajan de manera activa, planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase” (citado en Martí et al., 2010, p. 13). Por otra parte, Majó y Baquero, (2014) afirman que, los proyectos se pueden clasificar teniendo en cuenta el objetivo que se desee alcanzar al utilizar una metodología ABP, entre estos se destacan los que conllevan a la elaboración de un producto, los que se realizan únicamente por conocer una temática, los que tienen como finalidad fortalecer una habilidad o técnica y finalmente, los que buscan resolver un problema de interés (citado en López de Sosoaga et al., 2015)

En general, el ABP es una metodología centrada en el estudiante, donde el profesor tiene un rol de orientador proponiendo un problema contextualizado para incentivar el aprendizaje. A

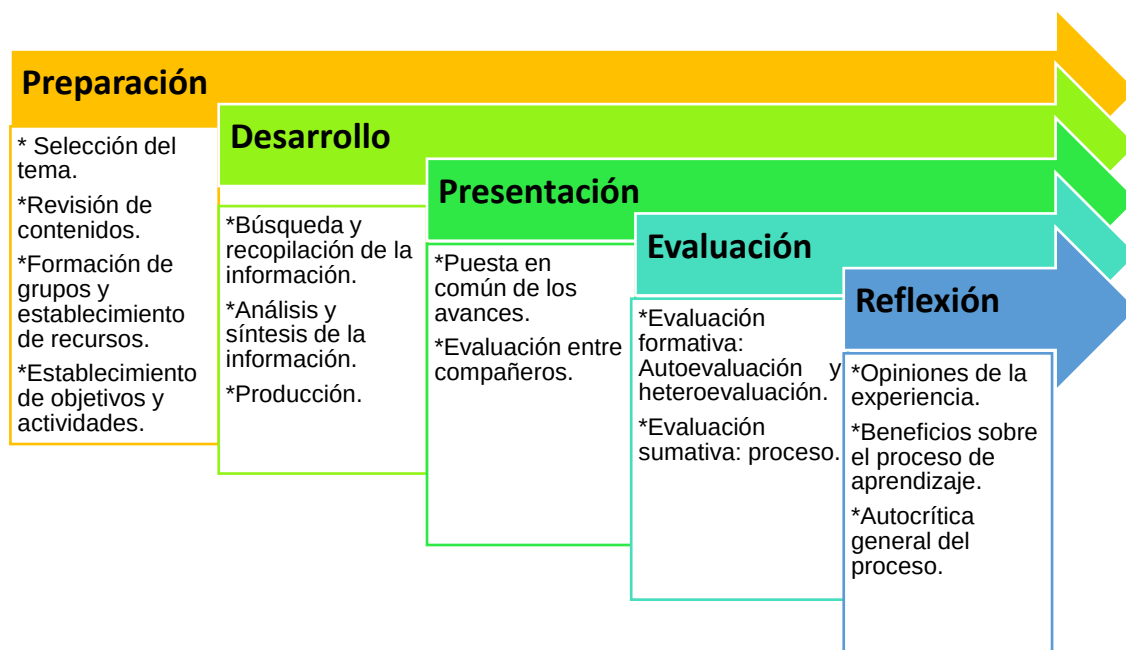
menudo, los estudiantes deben resolver tareas complejas que requieren de una enseñanza interdisciplinar en la cual se trabaje de forma colaborativa (García Martín y Pérez Martínez, 2018). Estas características generan que los estudiantes sean capaces de (Cobo Gonzales y Valdivia Cañotte, 2017):

“Planificar el trabajo en equipo para el logro de metas comunes, escuchar a sus compañeros y emitir sus puntos de vista, negociar compromisos y tomar decisiones, evaluar la organización y los avances, y finalmente plantear soluciones y generar ideas innovadoras” (p.6)

Para el desarrollo y la ejecución de los proyectos enmarcados en una metodología ABP, Torre Neches (2021), realiza una recopilación de las fases fundamentales descritas por Pozuelos en 2017, las cuales se visualizan en la Figura 1.

Figura 1.

Fases para el desarrollo de la metodología ABP.



Nota. Diagrama tomado de Torres Neches, 2021, p. 45.

En la Figura 1, se describen las fases o etapas que se pueden tener en cuenta al momento de llevar a cabo un proyecto, por lo tanto, es fundamental que todo el proyecto se desarrolle en torno a una problemática, posteriormente, se realiza el proceso de revisión de contenidos, espacios, recursos, el tipo de producto final y el establecimiento de las actividades. En cuanto a la fase de desarrollo, en ella se incluye la búsqueda de información y la producción en general de las

actividades y el producto final, el cual debe ser presentado ante los compañeros para realizar un proceso de evaluación formativa, que se recomienda que incluya la heteroevaluación y la autoevaluación, y finalmente, se gestiona un espacio de reflexión, para reconocer los beneficios de haber ejecutado el proyecto y las oportunidades de mejora.

Teniendo en cuenta, las características de la metodología ABP, entre las que se destaca la posibilidad de generar ambientes de aprendizaje interdisciplinar, se consideró que esta metodología sería adecuada para abordar la temática de las nanopartículas, puesto que, para comprender los fenómenos asociados a la síntesis, caracterización y aplicaciones se requiere de una visión integral de áreas como la química, la microbiología y otros saberes específicos.

5.4. Nanopartículas

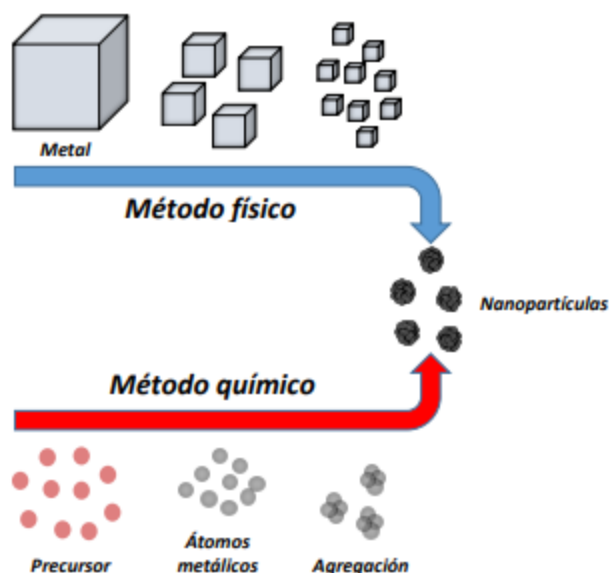
Una nanopartícula puede definirse como “un material con propiedades definidas de tamaño inferior a 100 nm”. (Juárez, 2011, p. 229) Además de acuerdo con Juárez (2011) dependiendo del material con el cual se estructuran, pueden tener naturaleza semiconductora, metálica y magnética, entre otras. Otros autores, como Pérez y Pérez (2023) definen que, para que un nanomaterial pueda ser considerado como tal, al menos una de las dimensiones debe estar entre 1 a 100 nanómetros (nm), mientras que, cuando todas las dimensiones del material se encuentran en dicho rango, se conocen como nanopartículas.

5.4.1. Síntesis de nanopartículas de cobre

Con respecto a la síntesis de nanopartículas metálicas, estas pueden obtenerse por medio de dos métodos, los cuales Villarraga (2012), describe como: “*Método físico (top-down)*, en el cual se produce una subdivisión mecánica del metal y *Método químico (bottom-up)*, basado en la nucleación y el crecimiento de partículas a partir de los átomos metálicos” (p. 3). En la Figura 2, que se muestra a continuación se exponen los métodos de síntesis de nanopartículas metálicas.

Figura 2.

Métodos de síntesis de nanopartículas metálicas.



Nota: Tomado de Villarraga, 2012, p. 3.

Según Pacheco (2013), los métodos de síntesis química suelen producir nanopartículas de mejor calidad comparadas con las obtenidas a través de métodos físicos, pues “es posible controlar tanto el crecimiento como el ensamble de las nanopartículas metálicas optimizando los parámetros de reacción, tales como la temperatura, la concentración de surfactantes, agentes capantes, solventes y precursores”. (Xie et al., 2004 citado en Pacheco, 2013 p.21). Con respecto a los métodos químicos, Arias (2021) afirma lo siguiente:

El procedimiento general se realiza mediante la solución de sales que contienen el metal específico. En presencia de un líquido con un pH adecuado las sales se descomponen liberando los iones metálicos. Estos iones tienden a unirse formando partículas, y si el crecimiento de dichas partículas se bloquea cuando son pequeñas (en el rango de los nanómetros) se obtienen las nanopartículas. (p.16)

Actualmente se han desarrollado varios métodos de síntesis química para la obtención de nanopartículas. De acuerdo con Chamé (2013) “entre los más conocidos se encuentran sol-gel, coprecipitación, descomposición térmica y reducción en los cuales varían las condiciones de síntesis para controlar el tamaño resultante”. (citado en Arias, 2021, p. 16) Sin embargo, debido a las limitaciones en cuanto al costo de producción y reactivos, en este trabajo de investigación se documentan únicamente dos, los cuales son de interés para el estudio. En primer lugar, se resalta el método de síntesis por reducción química, y en segundo lugar el de coprecipitación.

El proceso para desarrollar el método de síntesis por reducción química se describe brevemente a continuación, de acuerdo con Pacheco (2013):

- Se reduce una sal metálica por la acción de un agente reductor que dependiendo de su carácter fuerte o débil puede favorecer la formación de partículas más pequeñas o grandes. Dentro de los reactivos más destacados se encuentra “el borohidruro de sodio, el cual es un agente reductor fuerte”. (Kamat, 2002; Wei y col., 2005 citados en Pacheco, 2013, p. 16)
- Se utilizan agentes quelantes, llamados ligandos, “debido a la tendencia de los metales en transición para formar complejos. Algunos ejemplos son la etilendiamina, la cual permite formar un compuesto muy estable, y adicionalmente contribuye impidiendo la aglomeración de las nanopartículas”. (p. 15)
- Se debe “controlar la tendencia del cobre a oxidarse, utilizando un agente capante polimérico, el cual permite controlar el espesor del óxido. Cuando el polímero presenta un alto peso molecular la capa de óxido que se forma es más delgada”. (p. 19)
- Finalmente, “se debe recuperar el producto por medio de una filtración y lavarlo al menos tres veces, con algún solvente como la acetona o el alcohol etílico”. (p.20)

Por otra parte, el método de coprecipitación se caracteriza por la formación de una sustancia sólida que se va precipitando en la solución. Los precursores en este proceso suelen ser una solución de sales, de las cuales, una debe contener el metal de interés, y la otra debe presentar un pH específico, que permita la descomposición de ambas sales, produciendo iones metálicos que al aglomerarse van formando las nanopartículas de interés. (Pérez y Pérez, 2023)

Según Chamé (2013 citado en Pérez y Pérez, 2023) existen cuatro tipos de coprecipitación:

Adsorción superficial: Proceso por el cual los iones quedan atrapados en los poros superficiales del material.

Formación de cristales: Proceso en el que se forman espacios vacíos dentro de la red cristalina, las cuales serán ocupadas por iones metálicos.

Oclusión: Es la incorporación de impurezas que quedan atrapadas en el centro de la red cristalina, en la etapa de crecimiento.

Atrapamiento mecánico: Proceso por el cual se incorporan impurezas en la red cristalina en la etapa de nucleación. (p.27)

5.4.2. Caracterización de nanopartículas de cobre

Para la caracterización de nanopartículas se suelen utilizar diferentes técnicas como lo son, “la microscopia electrónica de transmisión (MET), la difracción de rayos X (DRX), el Análisis Termogravimétrico (TGA)”. (Pacheco, 2013, p.26) Otros autores mencionan además la Espectroscopía Infrarroja (IR) y la Resonancia de Plasmón superficial. (Pérez y Pérez, 2023)

5.4.3. Actividad antimicrobiana de nanopartículas de cobre

La actividad antimicrobiana de las nanopartículas metálicas, como las de cobre se ha estudiado con anterioridad para diversos microorganismos, obteniendo resultados favorables en cuanto a la efectividad en algunos de estos. De acuerdo con (Sondi y Salopek, 2004; Chatterjee et al, 2014), el mecanismo bajo el cual actúan estas nanopartículas no está completamente definido, sin embargo, se considera que, al entrar en contacto con el medio, se generan cationes de cobre, que se presume son atraídos por la carga negativa de la membrana bacteriana “provocando alteraciones en la estructura de la membrana, así como en la replicación de ADN y proteínas necesarias para la sobrevivencia del microorganismo”. (citado en Galleguillos, 2016, p. 2-3).

CAPÍTULO III

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. Paradigma, enfoque y diseño metodológico

Esta investigación se estructuró desde un enfoque cualitativo, el cual “se centra en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto” (Hernández-Sampieri et al., 2014, p. 358). Adicionalmente, dentro de los paradigmas que sustentan a los enfoques cualitativos, esta investigación se construyó desde el paradigma constructivista-interpretativo “que se basa en una ontología relativista (existen múltiples realidades), una epistemología subjetivista (el investigado y el investigador co-crean el conocimiento) y un conjunto de procedimientos metodológicos naturalistas (en el mundo real)” (Denzin y Lincoln, 2012, p.87).

Por otra parte, el diseño de la investigación seleccionado fue el de investigación-acción práctica, el cual se centra en el desarrollo y aprendizaje de los participantes y busca implementar un plan de acción para resolver un problema, el cual puede ser social o educativo (Hernández-Sampieri et al., 2014).

6.2. Participantes

Este trabajo de investigación se implementó en un taller de libre inscripción para profesores en formación de áreas como la Química y la Biología, por lo que, la población estuvo conformada por trece (13) participantes entre los cuales se encontraban: seis (6) estudiantes activos de Licenciatura en Química, dos (2) estudiantes activos de Licenciatura en Biología, dos (2) profesores graduados de Licenciatura en Química, dos (2) profesores graduados de la Licenciatura en Biología; todos los anteriores eran participantes provenientes de la Universidad Pedagógica Nacional, y finalmente un (1) estudiante activo de la Licenciatura en Química de la Universidad Distrital Francisco José de Paula Santander.

Teniendo en cuenta los participantes inscritos, la muestra objeto de estudio se definió de manera no probabilística. De acuerdo con Hernández-Sampieri et al. (2014), en este tipo de muestras, la elección de los participantes no depende de la probabilidad, sino que se realiza mediante la toma de decisiones del investigador. Esta elección se realizó teniendo en cuenta a los participantes que completaron todo el ciclo de actividades planteados, por lo que, en esta investigación la muestra poblacional objeto de estudio estuvo conformada por 10 participantes, es decir, que de

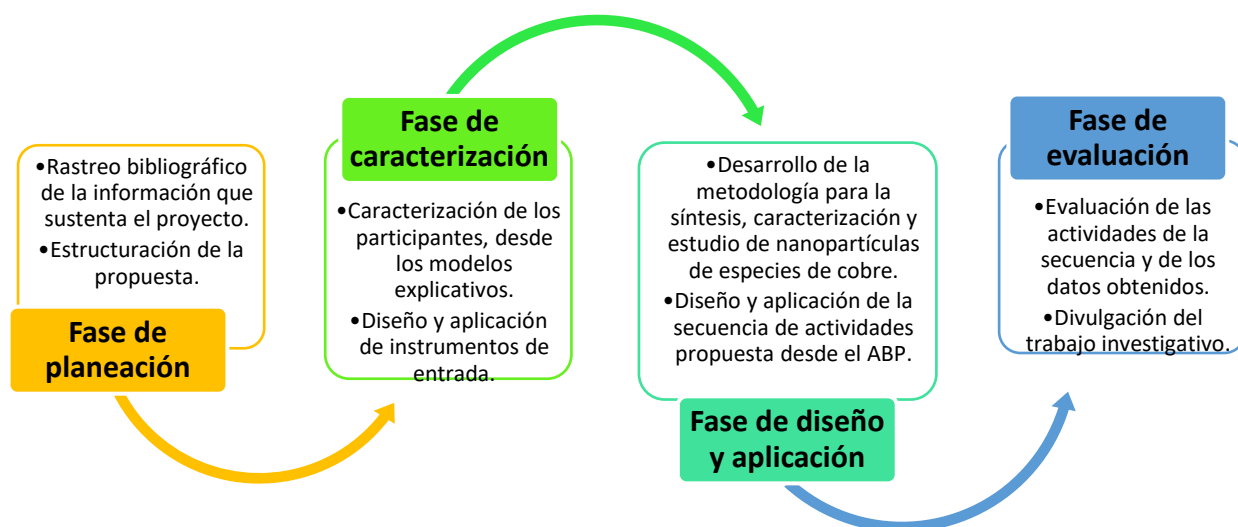
la población inicial se excluyeron dos (2) profesoras de Biología y un (1) estudiante activo de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional.

6.3. Fases de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se proponen cuatro fases de investigación, en correspondencia con los objetivos propuestos, estas fases se describen en la Figura 3 y se explican en los siguientes ítems:

Figura 3.

Fases de la investigación.



Nota: Elaboración propia.

6.3.1. Fase de planeación

En esta fase se definió y delimitó el planteamiento del problema, la justificación, objetivos, los antecedentes y el marco conceptual que sustenta toda la investigación, mediante una revisión bibliográfica de las variables estudiadas en este proyecto, entre las cuales se encuentran los modelos explicativos y las dimensiones y niveles de la estructura lógica de la Química, la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos y la enseñanza de las nanopartículas, desde su síntesis, caracterización y su posible uso como agentes antimicrobianos. Para esto, se utilizaron bases de datos como Scielo, Scopus, Springer Link, ResearchGate, Dialnet, Google Académico y repositorios de algunas universidades, como la Universidad Pedagógica Nacional y la Universidad Nacional de Colombia.

6.3.2. Fase de caracterización

Es importante resaltar que para poder llevar a cabo esta investigación se diseñó un consentimiento informado que debían diligenciar los participantes **(ANEXO A)**, antes de la ejecución de la investigación para el manejo de los datos. En esta fase se caracterizaron los modelos explicativos de los profesores en formación entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar, molecular y eléctrico, con respecto a la temática de nanopartículas, antes de la aplicación de una secuencia de actividades. Por ende, se diseñó un instrumento de caracterización de los participantes **(ANEXO B)** y un instrumento inicial para la caracterización de modelos explicativos que utilizan los participantes al momento de abordar explicaciones sobre las nanopartículas, por lo que además fue útil para la identificación de las ideas previas de los participantes en torno al estudio de nanopartículas de cobre y su actividad antimicrobiana **(ANEXO C)**.

El instrumento diseñado para la caracterización de los participantes incluye preguntas acerca del nivel educativo alcanzado, el lugar de residencia y las actividades académicas desarrolladas, para poder establecer la heterogeneidad del grupo participante. Por otra parte, el instrumento diseñado para la caracterización de modelos explicativos consta de siete (7) preguntas abiertas contextualizadas de forma gráfica o escrita, en las cuales se busca analizar las explicaciones dadas por los participantes. Cada una de las preguntas del instrumento se clasificó en una categoría teniendo en cuenta el nivel y la dimensión de Jensen (1998) según el tipo de explicaciones construidas esperadas, por lo que, en la Tabla 4 se muestra la categorización realizada, obteniendo tres (3) categorías.

Tabla 4.

Categorías de las preguntas del instrumento de caracterización e ideas previas.

CATEGORÍA	NIVEL	DIMENSIONES	PREGUNTAS	TIPO DE EXPLICACIONES Adaptado de Jensen (1998)
1	Molar y Molecular	Composición y estructura.	1, 2 y 3	Explicaciones referentes a la composición de sustancias y sus características y propiedades, como el estado, el color y la forma cristalina.
2	Molar y Eléctrico	Energía	4 y 5	Explicaciones referentes a la interpretación y análisis de espectros en términos energéticos.
3	Molar y Molecular	Energía	6 y 7	Explicaciones referentes al mecanismo molecular de

Nota. Categorización elaborada a partir de las concepciones de Jensen (1998).

El objetivo de cada una de las preguntas se describe a continuación:

Pregunta 1. Proporcionar una definición sobre “nanopartícula”.

Pregunta 2. Explicar y diferenciar conceptos como nanopartícula, nanomaterial y nanotecnología.

Pregunta 3. Describir los tipos de procesos utilizados para la síntesis de nanopartículas. Métodos “bottom up” y “top down”.

Pregunta 4. Reconocer técnicas como la Espectrofotometría UV-Vis, Espectroscopía IR y Difracción de Rayos X.

Pregunta 5. Interpretar un espectro UV-Vis.

Pregunta 6. Identificar mecanismos que permiten demostrar el carácter antimicrobiano de las nanopartículas metálicas.

Pregunta 7. Describir el mecanismo de inducción del estrés oxidativo causado por las nanopartículas metálicas.

A partir del instrumento de caracterización descrito con anterioridad, se construyeron dos matrices evaluativas. La primera matriz hace referencia a una rúbrica para la caracterización de los modelos explicativos empleados por los participantes al resolver el instrumento, para esto se toma la tipología de modelos explicativos aportada por Amador-Rodríguez et al, (2021), en la cual el autor describe cinco (5) modelos explicativos: el Intencional (MEIc), el Descriptivo (MED), el Interpretativo (MEIr), el Causal (MEC) y el Predictivo (MEP), esta rúbrica se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Rúbrica para la caracterización de cada uno de los tipos de modelos explicativos de interés en la investigación.

Tipo de Modelo	Indicadores para la caracterización del uso de cada Modelo Explicativo	(Marque con una X si el participante utiliza el modelo explicativo en las preguntas de cada categoría de análisis)
----------------	--	--

Explicativo (ME)		Categoría 1			Categoría 2		Categoría 3	
		Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7
Intencional (MEIc)	Proporciona el origen, el alcance y los límites del objeto de estudio, además de reconocer la importancia de dicho fenómeno en lo que explica.		X				X	
Descriptivo (MED)	Presenta las características o partes que componen al objeto de estudio de manera detallada, realizando una aclaración del significado del fenómeno.			X	X			
Interpretativo (MEIr)	Proporciona explicaciones sobre la naturaleza del objeto de estudio, su distribución en el espacio y cómo cambia con el tiempo, recurriendo a la teoría para reforzar sus afirmaciones.				X			X
Causal (MEC)	Explica el comportamiento desde la relación causa-efecto en las entidades de las cuales está compuesta el objeto de estudio.	X						
Predictivo (MEP)	Anticipa el comportamiento del objeto de estudio bajo condiciones específicas.					X		

Nota. En esta tabla se describen los indicadores de cada uno de los modelos explicativos en los cuales se busca caracterizar a los participantes, de acuerdo con las respuestas a cada una de las preguntas planteada en el instrumento inicial. Por lo que, se proporciona un ejemplo de cómo se utiliza la rúbrica de identificación de cada uno de los modelos explicativos. La abreviatura “Pr” hace referencia a la palabra “pregunta”. Elaboración propia.

Por otra parte, la segunda matriz evaluativa se planteó para reconocer el nivel de profundidad de cada uno de los modelos explicativos identificados en las respuestas de los estudiantes, por lo que, se establecen cuatro niveles de logro identificados con números del 1 al 4, donde 1 es bajo, 2 es insuficiente, 3 es aceptable y 4 es excelente. Esta rúbrica se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Indicadores de logro para establecer el nivel de profundidad en el uso de un modelo explicativo.

INDICADORES PARA EL NIVEL DE PROFUNDIDAD EN CADA MODELO EXPLICATIVO (ME)			
1 (Bajo)	2 (Insuficiente)	3 (Aceptable)	4 (Excelente)
Utiliza un modelo explicativo, sin embargo, la respuesta no es	Utiliza un modelo explicativo, pero lo hace de forma insuficiente,	Utiliza un modelo explicativo de forma aceptable, presentando una	Utiliza un modelo explicativo de forma excepcional, evidenciando una

clara, ni coherente desde el nivel y la dimensión de la Química establecidos para la categoría.	presentando una respuesta superficial, o poco coherente desde el nivel y dimensión conceptual de la Química establecidos para la categoría.	respuesta clara, desde el nivel y dimensión de la Química establecidos para la categoría, sin embargo, falta profundidad o análisis en sus explicaciones.	comprensión significativa del fenómeno, presentando una respuesta clara, coherente y acertada, expresada tanto desde el nivel como desde la dimensión de la Química establecidos para la categoría.
---	---	---	---

Nota. En la tabla se evidencian los indicadores de logro para establecer el nivel de profundidad con el cual los participantes realizan sus explicaciones a cada una de las preguntas planteadas. Elaboración propia.

Por otra parte, para la codificación de los resultados en Atlas ti. se asignaron uno o dos códigos a cada modelo explicativo, dependiendo de los indicadores que representa a cada modelo, con la finalidad de identificar qué tipo de modelo utiliza cada participante en cada pregunta. Los códigos diseñados para dicha categorización se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.

Códigos asociados con cada modelo explicativo.

Modelo explicativo (ME)	Indicadores	Código
Intencional (MEIc)	Proporciona el origen, el alcance y los límites del fenómeno, además de reconocer la importancia de dicho fenómeno en lo que explica.	“Importancia del fenómeno”
Descriptivo (MED)	Presenta las características o partes que componen al fenómeno de manera detallada, realizando una aclaración del significado del fenómeno.	“aclaración del significado” “características del fenómeno”
Interpretativo (MEIr)	Proporciona explicaciones sobre la naturaleza del fenómeno, su distribución en el espacio y cómo cambia con el tiempo, recurriendo a la teoría para reforzar sus afirmaciones.	“Explicación de la naturaleza del fenómeno”
Causal (MEC)	Explica el comportamiento desde la relación causa-efecto en las entidades de las cuales está compuesta el fenómeno.	“relación causa-efecto”

Predictivo (MEP)	Anticipa el comportamiento de un fenómeno bajo condiciones específicas.	“predicción de comportamiento”
-------------------------	---	--------------------------------

Nota. Elaboración propia a partir de los indicadores de categorización.

6.3.3. Fase de diseño y aplicación

En la fase de diseño y aplicación se diseñó una secuencia de actividades (**ANEXO C**) desde las características y etapas del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), para el abordaje de la temática de las nanopartículas de cobre y estudiar su actividad antimicrobiana. La secuencia de actividades consta de cinco (5) sesiones y actividades organizadas en tres (3) etapas, con la finalidad de ser desarrollada en un taller titulado *“Las nanopartículas de cobre como alternativa ante la resistencia bacteriana a los antibióticos: un caso de estudio desde la didáctica de la Química”*, en el cual se buscaba que los participantes lograran crear materiales didácticos para el abordaje de la temática con estudiantes de distintos niveles educativos. Teniendo en cuenta la naturaleza de cada una de las actividades diseñadas, para cada sesión se plantea un enfoque desde un nivel y una dimensión de la estructura lógica de la química, además de un modelo explicativo específico, puesto que, de manera intencionada e idealizada como parte del diseño de la secuencia se espera que los participantes puedan comprender las características de cada uno de los tipos de explicaciones, lo que no implica que puedan surgir nuevas categorías emergentes a través de las interacciones de los estudiantes en las actividades. Las etapas, actividades y el enfoque de cada sesión se describen en la Tabla 8.

Tabla 8.

Etapas de la secuencia didáctica planteada desde el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).

ETAPA	SESIÓN	ENFOQUE	ACTIVIDADES	EVALUACIÓN
Inicial	1	Nivel molar y molecular Modelo Explicativo Descriptivo	-Diagnóstico. -Contextualización de la problemática y propuesta de proyecto. Actividad 1: Redes de Jensen sobre la historia de la nanotecnología.	-Instrumento inicial. -Rúbrica de evaluación de las redes.
			-Síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs) por reducción química. Actividad 2: Informe de laboratorio.	-Rúbrica de evaluación para el material didáctico desarrollado.
Intermedia	2	Nivel molar y molecular Modelo Explicativo Descriptivo e Interpretativo.		

	3	Nivel molar y eléctrico Modelo Explicativo Causal e Intencional.	-Caracterización de CuNPs por UV-Vis, IR y análisis de la Difracción de Rayos X (DRX). Actividad 3: Texto analítico sobre los resultados UV-Vis y DRX.	-Rúbrica de evaluación para el texto construido.
	4	Nivel molar y molecular Modelo Explicativo Causal e Intencional.	- Análisis de la técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer. Actividad 4: Exposición mecanismos de acción de las nanopartículas.	-Rúbrica de evaluación para el guion desarrollado.
Final	5	Todos los niveles, dimensiones y Modelos Explicativos de interés.	Actividad 5: Presentación del producto (material didáctico) y evaluación. -Cierre y aplicación de instrumento de salida.	-Rúbrica de evaluación para el producto final. -Instrumento de salida.

Nota: En esta tabla se describen las etapas de desarrollo de la secuencia de actividades planteada desde el ABP, el enfoque de cada sesión y la actividad principal. Elaboración propia.

6.3.3.1 Instrumento 1 – Redes de Jensen

La primera actividad de la secuencia didáctica consistió en la construcción de una red conceptual y una red histórico-epistemológica (redes de Jensen) sobre los conceptos asociados a las nanopartículas (**ANEXO E**). Los formatos para ambas redes fueron tomados de Alzate Betancur (2012), y en ellos se incluyen parámetros como concepto, nivel, dimensión y definición (para el caso de la red conceptual); y contribución al desarrollo del concepto “nanopartícula”, autor(es), nivel, dimensión y enunciado (para el caso de la red histórico-epistemológica). Estas redes debían construirse a partir de una intervención educativa sobre qué son las nanopartículas, tipos de nanopartículas, diferenciación de conceptos como nanopartícula, nanomaterial y nanotecnología; además de abordar la clasificación de métodos de síntesis en “top-down” y “bottom-up”. Para esto, se plantearon los siguientes objetivos:

- Reconocer el concepto de nanopartícula desde su construcción histórico-epistemológica a partir de modelos explicativos descriptivos.

- Establecer diferencias entre conceptos relacionados con las nanopartículas y algunos métodos de síntesis desde un nivel conceptual molar a partir de modelos explicativos descriptivos.

6.3.3.2 Instrumento 2 – Informe trabajo práctico de laboratorio

La segunda actividad de la secuencia didáctica consistió en el desarrollo de una práctica de laboratorio con la finalidad de sintetizar nanopartículas de especies de cobre. Para esto, se construyó un *guion para el trabajo práctico de laboratorio (ANEXO F)* siguiendo las cinco fases planteadas por Caamaño, (2007), entre las que se incluyen: 1) Fase de percepción e identificación del problema; 2) Fase de planificación; 3) Fase de realización; 4) Fase de interpretación y evaluación; y finalmente, 5) Fase comunicación.

Esta actividad se enfocó desde el modelo explicativo descriptivo (MED) y el modelo explicativo interpretativo (MEIr), puesto que, se buscaba dar respuesta a dos interrogantes: ¿cuáles son las propiedades del fenómeno? ¿de qué se compone el fenómeno?, por lo que, se establecieron los siguientes objetivos:

- Aplicar una metodología de síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs), manipulando al menos una variable como temperatura, concentración y/o agitación.
- Describir (MED) e interpretar (MEIr) los resultados de la síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs) de forma creativa desde un nivel conceptual molar y molecular.

6.3.3.3 Instrumento 3 – Caracterización UV-Vis y DRX

En la tercera sesión se planteó la caracterización de las muestras obtenidas por medio de espectrofotometría UV-Vis para la interpretación del espectro obtenido, además se realizó una intervención para explicar cómo interpretar un difractograma de rayos X. Los grupos debían realizar un texto analítico en torno a estos resultados y a las siguientes preguntas guía: ¿de qué se compone el fenómeno? ¿cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones específicas? (**ANEXO G**), para lo cual, se establecieron los siguientes objetivos:

- Interpretar el espectro IR, UV-Visible y el de difracción de Rayos X para las nanopartículas sintetizadas, desde un nivel eléctrico del discurso, utilizando el Modelo Explicativo Causal y Predictivo.
- Caracterizar de forma detallada las CuNPs obtenidas, utilizando el Modelo Explicativo Causal y el Predictivo.

6.3.3.4 Instrumento 4 – Exposición mecanismos de acción

En la cuarta sesión se planteó una intervención educativa para explicar algunos mecanismos de acción de las nanopartículas metálicas contra las bacterias, además de algunas técnicas de análisis que pueden utilizarse para medir la susceptibilidad de los microorganismos a las nanopartículas, estas técnicas fueron el método Kirby-Bauer y la dilución en caldo. En esta actividad se buscaba:

- Comprobar la actividad antibacteriana de la CuNPs, mediante el análisis de la técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer.
- Construir un material didáctico para abordar un mecanismo de acción de las nanopartículas metálicas contra las bacterias, utilizando el Modelo Explicativo Causal e Intencional.

6.3.3.5 Instrumento 5 – Infografía

La quinta actividad de la secuencia didáctica consistió en el desarrollo de una infografía enfocada a una población perteneciente a un nivel de formación específico, eligiendo uno de los temas de mayor interés que hayan sido abordados a lo largo del taller. Para esta actividad se diseñó un instrumento de coevaluación (**ANEXO H**), con la finalidad de reflexionar acerca del material desarrollado, en cuanto a la pertinencia, la creatividad y las explicaciones realizadas por cada grupo. Los objetivos de la sesión fueron:

- Desarrollar un material didáctico enfocado a una población en un nivel de formación específico, para la comprensión de las nanopartículas de cobre como una alternativa ante la resistencia bacteriana.

- Evaluar los materiales didácticos de cada uno de los grupos de trabajo desde la presentación, la pertinencia y los contenidos.

6.3.4. Fase de evaluación y divulgación

En la fase de evaluación se busca analizar los resultados obtenidos en las fases anteriores, por lo que, para el análisis de datos se plantea utilizar el software ATLAS.ti y el software SPSS Statistics. Con los resultados se busca caracterizar los modelos explicativos que utilizan los participantes, además de analizar qué modelos explicativos utilizan o construyen en cada una de las actividades de la secuencia didáctica, para finalmente contrastar el nivel de profundización de cada modelo explicativo entre el instrumento inicial y final, para lograr establecer si existe una correlación entre las variables que dirigen el estudio, como lo son el enfoque ABP y la construcción de modelos explicativos sobre las nanopartículas desde la perspectiva de Jensen.

A partir del desarrollo de las fases de investigación descritas anteriormente, se busca alcanzar el objetivo general de la investigación, en la cual se pretende analizar la construcción de modelos explicativos a nivel molar, molecular y eléctrico entre las dimensiones estructura/composición y energía, de un grupo de profesores de ciencias en formación al abordar el estudio de nanopartículas de especies de cobre mediante una metodología ABP.

6.4. Técnicas de recolección de la información

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se recolectó información en la fase de caracterización, y en la fase de diseño y aplicación. En primer lugar, en la fase de caracterización se establece un instrumento de caracterización de ideas previas, en el cual se busca reconocer los modelos explicativos utilizados por los participantes, entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar, molecular y eléctrico; además se implementó un instrumento de caracterización de los participantes, con la finalidad de reconocer el perfil académico.

En la fase de diseño y aplicación, se utilizan formatos de actividades para la recolección de información, además se diseñan rúbricas de evaluación, que permitan evaluar cada una de las actividades pertenecientes a la secuencia de actividades, en las cuales, se podrá establecer, de qué manera se va transformando el discurso de los participantes. En esta fase también se

utilizaron técnicas documentales y observacionales, para recolectar datos a través de documentos, entrevistas semiestructuradas y observación de las sesiones.

CAPÍTULO IV

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este apartado se incluye el análisis del instrumento inicial con la finalidad de reconocer qué modelos explicativos utilizan los participantes en torno a la temática de nanopartículas antes de la aplicación de la secuencia didáctica planteada, para posteriormente, contrastar dichos resultados con los obtenidos al finalizar todas las actividades que median el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, se incluye el análisis cualitativo y cuantitativo de cada una de las actividades de la secuencia utilizando Atlas. Ti.

7.1. Caracterización de los participantes

Se aplicó un instrumento de caracterización (**ANEXO B**) con preguntas tales como la edad, el género, el nivel de escolaridad, las actividades académicas recientes (capacitaciones, conferencias, cursos, etc.), el barrio de residencia y la ocupación actual, con la finalidad de conocer la heterogeneidad u homogeneidad presente en los participantes. Dentro del análisis de estos datos se encontró que de los 13 inscritos en el taller:

- 2 eran estudiantes de Licenciatura en Biología, que se encontraban en la fase de fundamentación, es decir, en los primeros semestres, además no habían desarrollado actividades académicas como capacitaciones o cursos asociados con las ciencias naturales.
- 2 eran Licenciadas en Biología, con una amplia trayectoria como docentes en colegios privados y públicos.
- 7 eran estudiantes de Licenciatura en Química, que se encontraban cursando la fase de profundización, es decir, los últimos semestres de su carrera, por lo que, se encontraban desarrollando su actividad de práctica docente.
- 2 eran Licenciados en Química, con experiencia como docentes y/o en el manejo de laboratorios.

De los 13 inscritos en el taller, únicamente 1 de los participantes se encontraba realizando sus estudios de Licenciatura en Química en la Universidad Distrital, mientras que, los otros 12 eran estudiantes o Licenciados de la Universidad Pedagógica Nacional. Teniendo en cuenta la caracterización se establecieron grupos de trabajo lo más heterogéneos posibles con la finalidad de generar espacios interdisciplinarios, en los que convergieran diferentes niveles de

profundización de las carreras universitarias estudiadas. Sin embargo, no todos los inscritos participaron activamente del taller, por lo que, de los 13 inscritos únicamente 10 hicieron parte de los participantes analizados en esta investigación. El perfil de cada uno de los participantes y el grupo de trabajo al cual se asignó para el desarrollo de esta secuencia, se describen en la Tabla 9.

Tabla 9.

Datos generales de la caracterización de los participantes.

Participante (P)	Perfil	Grupo de trabajo
P1	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 1
P2	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 1
P3	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 1
P4	Licenciado en Química	Grupo 2
P5	Estudiante de Licenciatura en Biología	Grupo 2
P6	Licenciado en Química	Grupo 3
P7	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 3
P8	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 3
P9	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 4
P10	Estudiante de Licenciatura en Química	Grupo 4

Nota: Elaboración propia.

7.2. Prueba de entrada y caracterización de modelos explicativos iniciales

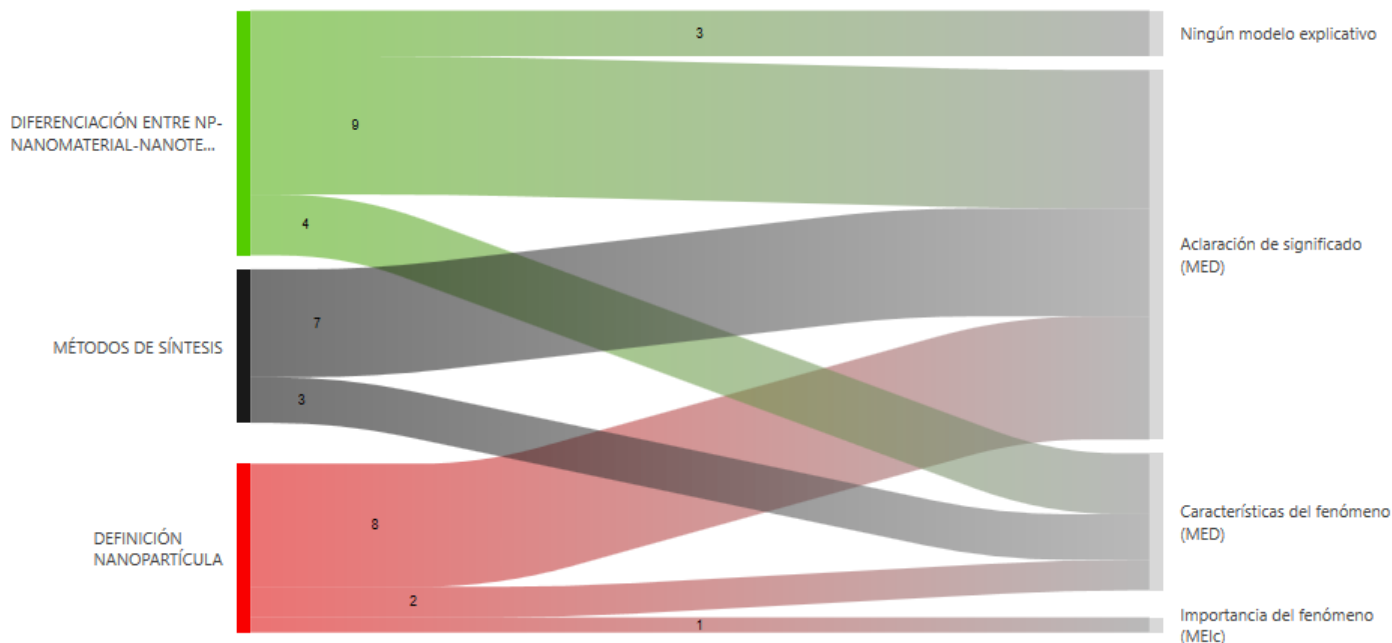
El análisis de cada una de las respuestas se realizó teniendo en cuenta los códigos definidos en la metodología para cada modelo explicativo, utilizando Atlas.ti y agrupando las preguntas por categoría. En la Figura 4 se muestra un diagrama de co-ocurrencia en el cual se incluyen los códigos asociados con los modelos explicativos encontrados en las respuestas de las preguntas 1,2 y 3, además del enraizamiento, el cual hace referencia a la cantidad de citas que posee cada código, es decir, las veces que se repite en los documentos analizados.

Figura 4.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 1 de la prueba inicial.

Figura 4.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 1 de la prueba inicial.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

Según el diagrama de la Figura 6 se pudo encontrar que, para la pregunta sobre la definición de nanopartícula hubo 8 citas asociadas con la “aclaración del significado” (MED), 2 citas relacionadas con el código “características del fenómeno” (MED) y solamente 1 cita relacionada al código “importancia del fenómeno” (MEIc); por otra parte, para la pregunta que buscaba indagar en la diferenciación de conceptos como nanopartícula, nanomaterial y nanotecnología se encontró que la mayoría de las respuestas (9 citas) podían asociarse con el código “aclaración del significado (MED)” y uno de los participantes tuvo las 3 citas asociadas con “ningún modelo explicativo” puesto que, en la definición de cada concepto presentaba errores conceptuales. También se encontraron 4 citas asociadas con la descripción de “características del fenómeno (MED)”, lo indica que 9 participantes presentaron un modelo explicativo descriptivo en sus respuestas, y que estas podían encasillarse desde las características del fenómeno o la aclaración de un significado, y dentro de las respuestas únicamente un participante hace referencia a la importancia del fenómeno por lo que intenta desarrollar un modelo explicativo intencional.

En general, en las primeras preguntas, asociadas a la categoría molar-molecular y la dimensión composición/estructura, los participantes tienden a dar respuestas desde al menos una de las

características del fenómeno que se analiza, a su vez intentando aclarar el concepto. Por ejemplo, con respecto al concepto de nanopartícula, la Participante 1 (2024) afirma que:

“Las nanopartículas pertenecen a un grupo de nanomateriales en este caso también pertenecen a una categoría de nanomateriales provenientes de metales, que cuentan con una dimensión menor a 100 nanómetros, lo cual indica que es una diminuta pieza de materia, así mismo pueden considerarse aglomeraciones de 200 átomos que se encuentran dentro de una nano escala”

En este caso, la Participante 1 presenta algunas características y realiza una aclaración del significado del fenómeno “nanopartícula”, lo que permite categorizar su explicación en un modelo explicativo descriptivo (MED), sin embargo, su explicación no es detallada, no proporciona ideas sobre el origen, la naturaleza o la importancia del concepto, ni cómo este ha evolucionado a través del tiempo. Además, tampoco establece explicaciones de causa-efecto o que le permitan predecir un comportamiento específico, por lo que, su respuesta no es posible categorizarla en otro tipo de modelo explicativo.

De acuerdo con Balandrán-Quintana y Mendoza-Wilson (2021), las nanopartículas son nanomateriales 0D (cero dimensiones en la escala macro), lo que significa que sus tres dimensiones están reducidas a la escala nanométrica, es decir entre 1 y 100 nm. Mientras que, teniendo en cuenta la definición del P1, *“las nanopartículas presentan una dimensión menor a 100 nm”*, lo que puede ser más cercano a la definición de otro tipo de nanomateriales como los nanotubos o las nanoláminas, en los cuales al menos una de sus dimensiones no se encuentra en la nanoescala.

Por otra parte, si analizamos la respuesta de la Participante 5 (2024), donde describe que las nanopartículas:

“Se puede considerar como las partículas más pequeñas que existen que son clave para la formación de macropartículas o estructuras más grandes, es por eso por lo que, son fundamentales para la vida misma, por su pequeña estructura que son clave para la vida”

Podemos afirmar que la primera frase posee errores conceptuales, puesto que, las nanopartículas no representan a las *“partículas más pequeñas que existen”*, puesto que, si bien de acuerdo con la definición anterior, las nanopartículas deben poseer todas sus dimensiones en una escala de 1 a 100 nanómetros, podemos decir que, por debajo de estas medidas se encuentran los átomos, y las partículas elementales. Adicionalmente, la P5 menciona que son

“fundamentales para la vida” pero no realiza una explicación de su afirmación, por lo que, desde el nivel molar y la dimensión composición/estructura la definición se enmarca en un nivel de profundidad bajo.

Cuando se habla de nanopartículas, es posible llegar a confundir las escalas de medición, por ejemplo, esto también se presenta en la definición de la Participante 2 (2024), quien afirma que: *“Una nanopartícula es una partícula de una dimensión a microescala”*. Lo cual es inconsistente, porque la unidad de medición utilizada para describir a las nanopartículas es el nanómetro, es decir, se posiciona desde la nanoescala.

En cuanto a la pregunta que buscaba diferenciar los conceptos nanopartícula, nanomaterial y nanotecnología, se encontraron afirmaciones como:

“La nanopartícula es una pieza diminuta de materia que está compuesta por un elemento, los nanomateriales se clasifican de acuerdo con su diámetro y la nanotecnología es un campo de conocimiento que abarca saberes y métodos de manipulación de la materia en nanoestructuras” (Participante 1, 2024).

“Nanomaterial se describe como subpartículas que se encuentran en distintos elementos, pero de manera más específica y la nanotecnología es una parte de la tecnología donde se realizan modificaciones en las estructuras” (Participante 5, 2024).

“La nanotecnología abarca un campo interdisciplinario que utiliza nanomateriales. Un nanomaterial es cualquier material que contenga nanopartículas o esté estructurado en una escala nanométrica” (Participante 6, 2024).

“Las nanopartículas son pequeñas agrupaciones de átomos unidos por enlaces químicos, mientras que, el nanomaterial es especializado para trabajar con elementos y partículas muy pequeños. La nanotecnologías con diferentes tecnologías que se pueden emplear a nivel muy pequeño” (Participante 10, 2024).

Con la afirmaciones de los participantes es posible concluir que presentan descripciones muy generalizadas y superficiales sobre cada concepto, pues no hay mucha claridad sobre la diferencia específica entre lo que es un nanomaterial y una nanopartícula. De acuerdo con Balandrán-Quintana y Mendoza-Wilson (2021), las nanopartículas se pueden clasificar como nanomateriales, y estos pueden clasificar en 0D, 1D y 2D, que indica cuántas dimensiones posee en una escala macro, es decir, por encima de los 100 nanómetros (nm), por lo que los nanomateriales 0D poseen todas sus dimensiones en una escala menor o igual a 100 nm,

mientras que, los 1D tienen al menos una dimensión por encima de los 100 nm, y los materiales 2D presentan dos dimensiones por encima de los 100 nm. En todas las respuestas hace falta profundidad, no se realizan explicaciones sobre la estructura de los diferentes tipos de nanomateriales, coloración en una suspensión, ni propiedades.

Con respecto a los métodos físicos y químicos para la síntesis de nanopartículas metálicas, algunas afirmaciones fueron:

“Los métodos físicos son aquellos Top-down reducen el tamaño de agregación del material hasta llegar a la escala nano, mientras que los métodos químicos Bottom-up formación de partículas a partir de una disolución” (Participante 1, 2024).

“las nanopartículas estructuras más pequeñas que están compuestas de los cluters que son unas diminutas formas y estructuras” (Participante 5, 2024).

“Desde el método químico, se cuenta con una explicación más detallada del proceso a nivel químico desde las estructuras” (Participante 10, 2024).

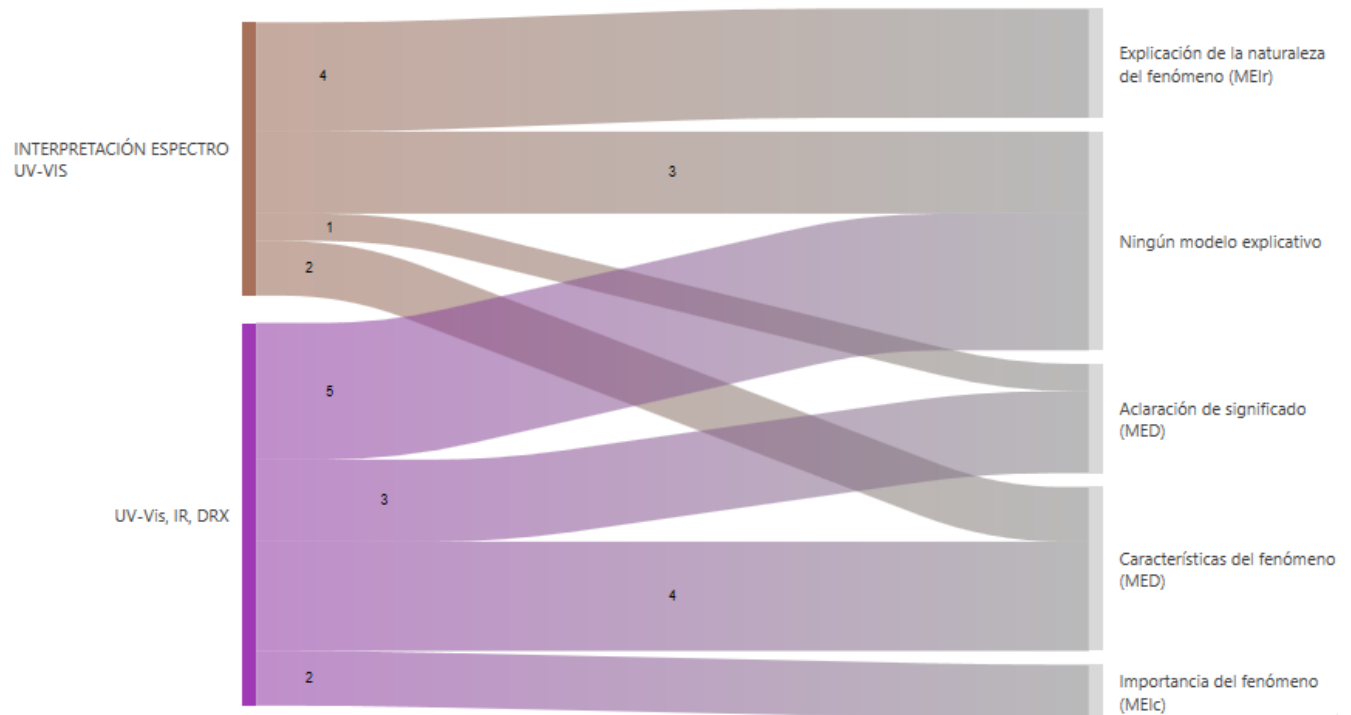
Los participantes realizan descripciones relacionadas con la disminución del tamaño o la generación de nanopartículas a partir de una disolución, sin embargo, no profundizan en cómo se desarrollan de forma general estos procesos, qué insumos se utilizan y características tienen las nanopartículas obtenidas, las cuales difieren en cuanto al tamaño, la forma y las propiedades.

En esta categoría, se esperaba que los participantes pudiesen realizar explicaciones a nivel molar desde la composición y estructura, haciendo referencia por ejemplo a las coloraciones que pueden presentar las nanopartículas en suspensión, el estado y la forma, según las características descritas por Jensen (1998), diferenciar las definiciones de nanomaterial y nanotecnología y establecer algunas aplicaciones, además de relacionar de modo general los métodos de síntesis, teniendo como base la concepción de “método físico” y “método químico”, por lo que, si bien utilizan un modelo explicativo este no posee un nivel de profundidad que permita abarcar todas las características que describen a las nanopartículas, por ende, los niveles de profundidad se clasificaron en 1 (bajo) y 2 (insuficiente).

Para la categoría 2, donde se encuentran las preguntas relacionadas con el reconocimiento de técnicas como espectrofotometría UV-Vis, espectroscopía IR y difracción de Rayos, además de la interpretación de espectros UV-Vis, se encontraron las relaciones mostradas en la Figura 5.

Figura 5.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 2 de la prueba inicial.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

En la Figura 5 se puede apreciar que los códigos más recurrentes en las respuestas a la pregunta sobre la interpretación de espectros UV-Vis son “ningún modelo explicativo”, y “explicación de la naturaleza del fenómeno (MEIr)”, mientras que, para la pregunta que busca que describan el funcionamiento de tres técnicas, la mayor cantidad de citas se asociaron a los códigos “ningún modelo explicativo” y “características del fenómeno (MED)” y en menor medida “importancia del fenómeno (MEIc)”. A continuación, se resaltan algunas de las respuestas realizadas por los participantes:

“la imagen del protocolo 1, no hay presencia de cobre, en el segundo protocolo hay presencia del metal, pero muy mínimas y en el tercer protocolo hay si se evidencia claramente una presencia de cobre” (Participante 1, 2024).

“El protocolo 1 y 5 que presentan longitudes de onda mayores a 500 nm, los picos de absorbancias están entre 2 y 2,2 indicando que no hay presencia de nanopartículas” (Participante 3, 2024).

“A partir del eje, que da inicio desde el número 4 que es considerablemente alta en la gráfica según la longitud de onda va aumentando la absorbancia va disminuyendo hasta que llega a la longitud 500 ya es muy baja” (Participante 5, 2024).

“El gráfico sugiere, que es un barrido espectral, para saber a qué longitud de onda presenta la identificación la molécula, sugiriendo que es a 293 nm, por lo que creo que será de color cercano al azul, sugiriendo una sal de cobre” (Participante 7, 2024).

En cuanto a las afirmaciones realizadas por la participante 1 y 2, se aprecia que intenta realizar conclusiones desde la interpretación de la información, estableciendo relaciones entre la absorbancia y la longitud de onda, sin embargo, no menciona por qué sería posible afirmar si hay o no presencia de nanopartículas, es decir, cuál es el sustento teórico, además no realizan explicaciones desde el fenómeno de estudio que es conocido como la resonancia del plasmón superficial y para comprenderlo y explicarlo es necesario recurrir a un nivel eléctrico y una dimensión energética del discurso, puesto que, deriva de las interacciones de los electrones superficiales de las nanopartículas y la interacción con la radiación visible o ultravioleta, es decir que la posición del pico puede dar un estimado del tamaño de las partículas y el ancho de banda puede llegar a indicar si las partículas de la suspensión presentan tamaños homogéneos o heterogéneos. Los participantes 5 y 7 únicamente realizan explicaciones descriptivas según la información presentada y los demás participantes no resuelven la pregunta, por lo que, se categorizaron en “ningún modelo explicativo”.

Para el caso de la pregunta relacionada a la definición, funcionamiento o aplicaciones de técnicas como la difracción de rayos X, la espectrofotometría UV-Vis y la espectroscopía IR, se encontraron explicaciones desde la “aclaración de significados (MED)”, “las características del fenómeno (MED)” y la “importancia del fenómeno (MEIc)”, además la mitad de los participantes se categorizaron en “ningún modelo explicativo”. A continuación, se destacan algunas de las respuestas de los participantes:

“Microscopia de fuerza atómica y difusión de luz dinámica” (Participante 1, 2024).

“La difracción de rayos x que son las diversas formas en que se “parte” la luz” (Participante 5, 2024).

“la espectrofotometría UV-Vis la he aplicado en determinaciones de proteínas, metales pesados y colorantes. Mientras que el IR la he utilizado en determinaciones de compuestos orgánicos” (Participante 6, 2024).

“Tengo conocimientos sobre la espectroscopía IR, sin embargo, no es algo muy profundo, o que haya trabajado” (Participante 10, 2024).

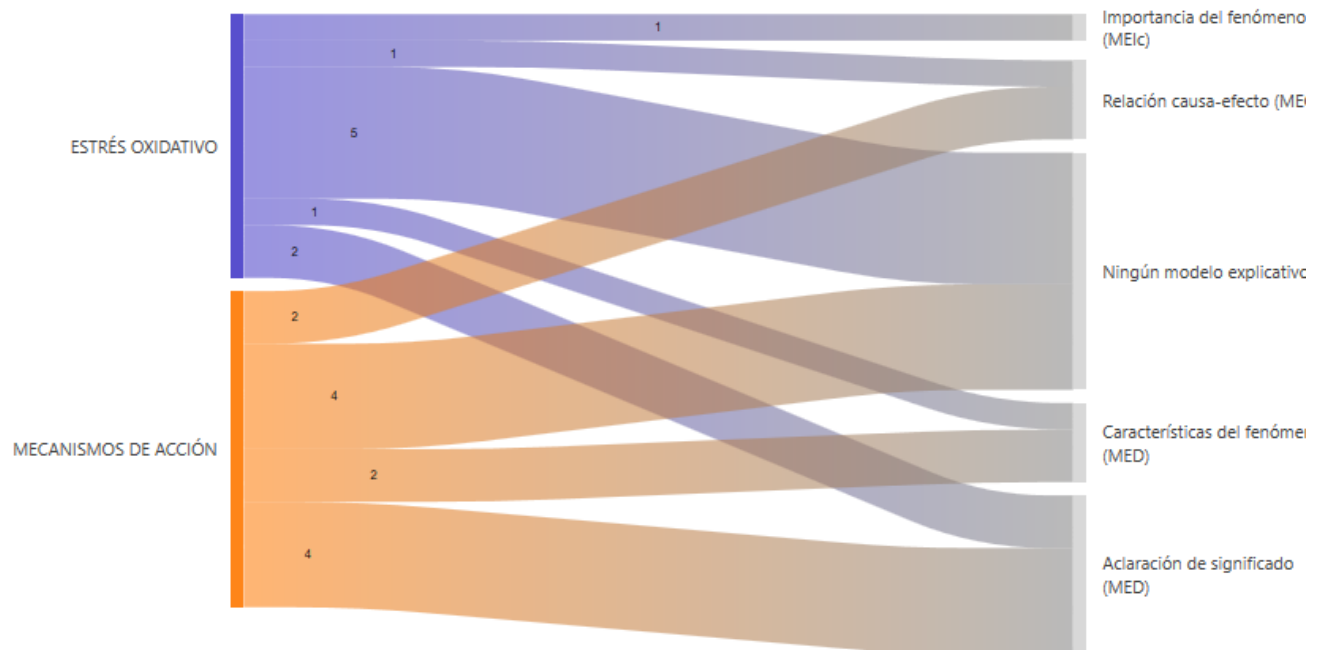
“la utilidad principal de la espectrofotometría UV-Vis es que permite en casos de sustancias puras, identificar, características organolépticas como el color, además de determinar la concentración de estas” (Participante 7, 2024).

Las respuestas de la participante 1, la participante 5 y la participante 10 se encasillaron en “ningún modelo explicativo”, pues sus definiciones no corresponden con la pregunta planteada, o realizan afirmaciones incorrectas desde la teoría, por ejemplo, el considerar que la difracción de rayos X son las diversas formas en que divide la luz. Por otra parte, tanto el participante 6 como el participante 7 hacen referencia a los usos o aplicaciones, describiendo algunas características del fenómeno, pero no realiza explicaciones en torno al funcionamiento de cada técnica, por lo que, aunque su explicaciones puede clasificarse en un modelo explicativo intencional que busca resaltar la importancia del fenómeno, el nivel de profundidad en su discurso es superficial, teniendo en cuenta que, ningún participante hace alusión a la interacción entre los electrones y la energía que son los sustentos de cada una de las técnicas de análisis mencionadas. Por ende, las explicaciones no se enmarcan en un nivel del discurso eléctrico y una dimensión energética, bajo el cual se realizan explicaciones más integrales sobre los fenómenos asociados a la interpretación de espectros según Jensen.

Para la categoría 3, donde se encuentran las preguntas relacionadas con los mecanismos de acción de las nanopartículas y el estrés oxidativo, se encontraron las relaciones mostradas en la Figura 6.

Figura 6.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 3 de la prueba inicial.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

Para el caso de la pregunta sobre el estrés oxidativo, se encontró una mayor recurrencia en “ningún modelo explicativo” (5 citas), por lo que, la mitad de los participantes no sabían cómo definir lo que era el estrés oxidativo. Los otros participantes describieron “características del fenómeno (MED)”, procuraron “aclarar del significado (MED)” y mencionar “la importancia del fenómeno (MEIc)” o cómo se producía teniendo en cuenta una “relación causa-efecto (MEC)”. A continuación, se muestran algunas de las citas codificadas:

“con el estrés oxidativo es que se generan ROS que son altamente reactivos, el organismo como mecanismo de defensa genera antioxidantes que los brindan los alimentos que se consumen que contengan vitaminas y enzimas” (Participante 1, 2024)

“Inicialmente sucede porque es importante el saber los diferentes procesos que suceden y que son importantes para reconocer los diversos mecanismos que suceden en nuestro diario vivir” (Participante 5, 2024).

“El estrés oxidativo es un fenómeno común en los procesos bioquímicos donde el equilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y su neutralización

por sistemas antioxidantes es crucial para mantener la homeostasis celular” (Participante 6, 2024).

“El estrés oxidativo de especies reactivas de oxígeno, tiene que ver con la muerte celular programada, relacionada a daños en el ADN o el ARN” (Participante 7, 2024).

En la afirmación de la P1, se puede reconocer que intenta realizar explicaciones desde una “relación causa-efecto (MEC)”, sin embargo, no realiza una descripción detallada del fenómeno que le permita explicar porque el cuerpo necesita antioxidantes. La P5 se categorizó en “ningún modelo explicativo” puesto que en su respuesta no logra realizar ninguna explicación del fenómeno y únicamente menciona generalidades de los procesos que ocurren en el cuerpo. Por otra parte, en la respuesta del P6 se puede apreciar un interés por describir “la importancia del fenómeno (MEIc), sin embargo, no presenta una aclaración del concepto, mientras que, el P7 se acerca a una definición o aclaración del significado, mencionando que finalmente ocurre una relación de causa-efecto que desemboca en la muerte celular. En todos los casos se evidencia que el nivel de profundidad del discurso es superficial, los participantes no logran explicar el fenómeno desde un nivel molecular, el cual sería el más adecuado para comprender qué es el estrés oxidativo.

Para la pregunta en la cual se busca que los participantes expliquen algunos mecanismos de acción de las nanopartículas metálicas contra las bacterias se encontró que principalmente utilizan modelos explicativos descriptivos al realizar afirmaciones desde las “características del fenómeno (MED)”, y “la aclaración de significado (MED)”. Además, cuatro participantes no presentan “ningún modelo explicativo” en torno a los mecanismos de acción de las nanopartículas. Dentro de las afirmaciones encontradas se destacan:

“Las propiedades de las nanopartículas dependen de exclusivamente del tamaño de las nanopartículas, es decir, entre más pequeña mayor será su efectividad” (Participante 1, 2024).

“hay un rompimiento en la membrana celular hace que haya una serie de envoltorio donde se ven las 5 partículas, finalmente, hay una generación e inducción para los agentes oxidativos” (Participante 5, 2024).

“Las nanopartículas metálicas pueden interactuar con la membrana celular bacteriana, perturbando su integridad y causando rupturas” (Participante 6, 2014).

“Al ser nanopartículas especializadas, ingresan en cada función de la célula, interviniendo en diferentes trabajos como proteínas y demás aspectos” (Participante 10, 2024).

La afirmación de la P1 no se categoriza en ningún modelo explicativo puesto que, si bien la explicación que presenta tiene sentido desde la teoría y es válida, esto no responde al mecanismo que utilizan las nanopartículas contra las bacterias. Por otra parte, las explicaciones realizadas por las participantes 5 y 10 se relacionan con una descripción breve y superficial de uno de los mecanismos, pero no profundizan en cómo ocurren a nivel molecular, esto mismo ocurre con la explicación del P6, solo que el intenta además establecer una relación de causa-efecto (MEC).

Ahora bien, teniendo en cuenta las rúbricas de identificación y nivel de profundidad de los modelos explicativos se realizó un análisis de cada uno de los participantes (P) de esta investigación, para poder reconocer los modelos explicativos más recurrentes en sus respuestas. Es importante resaltar que, en algunos casos se apreció que en una misma respuesta se pueden encontrar varios modelos explicativos o ninguno, por lo que, en los casos que no se categorizó en ningún modelo explicativo hacía referencia a que la pregunta no fue contestada o la respuesta es ajena a la pregunta realizada por lo que, en estos casos el nivel de profundidad fue de cero (0). En la Tabla 10 se muestran los resultados generales de los modelos explicativos encontrados a nivel general en las respuestas de cada participante en la prueba inicial.

Tabla 10.

Resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba inicial.

RESULTADOS GENERALES PRUEBA INICIAL		
Participante (P)	Modelo explicativo (ME)	Nivel de profundidad
P1	Descriptivo (MED)	2
	Causal (MEC)	1
P2	Descriptivo (MED)	1
P3	Descriptivo (MED)	1
	Intencional (MEIc)	1
P4	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	1
	Causal (MEC)	1
P5	Descriptivo (MED)	1
	Causal (MEC)	1
P6	Descriptivo (MED)	2
	Intencional (MEIc)	1
	Interpretativo (MEIr)	2
P7	Descriptivo (MED)	1
	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	1

P8	Descriptivo (MED)	1
	Interpretativo (MEIr)	1
	Causal (MEC)	1
P9	Descriptivo (MED)	1
	Interpretativo (MEIr)	1
P10	Descriptivo (MED)	1
	Interpretativo (MEIr)	1

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de las respuestas.

Según la categorización realizada en la Tabla 10, se puede apreciar que, en general, todos los participantes expresaron modelos explicativos de tipo descriptivo (MED), y en menor medida, otros utilizan modelos explicativos interpretativos (MEIr), intencionales (MEIc) o causales (MEC), además, se evidencia que ningún participante realiza explicaciones desde un modelo predictivo (MEP). Por otra parte, el nivel de profundidad en cada una de las respuestas es de 1 (bajo) o 2 (insuficiente), esto debido a errores conceptuales o inconsistencias en las definiciones, además de explicaciones incompletas o poco precisas desde el nivel conceptual y la dimensión de la estructura de la Química.

Adicionalmente, se encontró que las preguntas relacionadas con el mecanismo de acción de las nanopartículas y la definición de los usos e importancia de técnicas de análisis como la espectrofotometría UV-Vis, la espectroscopía IR y la difracción de Rayos X, fueron las que más dificultad generaron, puesto que, la mitad de los participantes no supo cómo construir una explicación sobre el fenómeno abordado, cabe destacar que para realizar una correcta descripción de estos dos fenómenos se debe recurrir a un discurso enmarcado en los niveles molecular y eléctrico y una dimensión energética, para los cuales se requiere poseer un mayor dominio de los conceptos químicos.

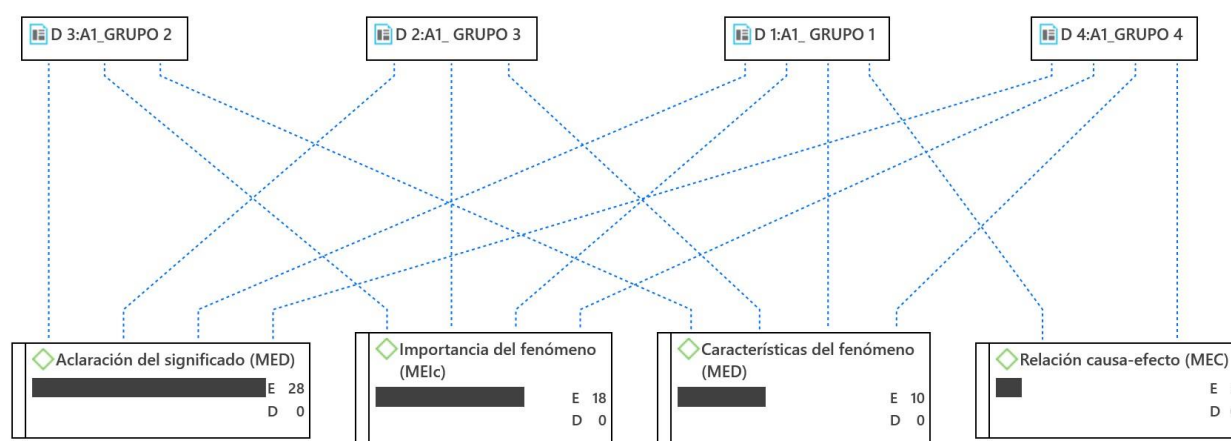
7.3. Actividad 1 – Redes de Jensen

Para el análisis de esta actividad se construyó una rúbrica de evaluación en la cual se establecieron categorías para cada red, con un total de 6 indicadores para reconocer el nivel de profundidad en sus explicaciones. Cada enunciado contaba con una escala de valoración donde 1 es bajo, 2 es insuficiente, 3 es aceptable y 4 es superior, esto quiere decir que, al realizar la sumatoria para establecer el puntaje obtenido por cada grupo en la actividad, el puntaje más alto posible era de 26 puntos (suponiendo que obtuviesen una valoración de 4 en cada uno de los 6 indicadores), mientras que, el puntaje más bajo posible es de 6 puntos (suponiendo que obtuviesen una valoración de 1 en cada uno de los 6 indicadores).

Si bien las explicaciones realizadas durante la sesión se enfocaron desde un modelo explicativo descriptivo (MED) e intencional (MEIc), con la finalidad de dar respuesta a las preguntas propuestas por cada modelo, es importante resaltar que, para analizar los modelos específicos que utilizaron los participantes se utilizó la misma codificación propuesta para el análisis de la prueba inicial, realizada en Atlas.ti. En la Figura 7 se evidencia la red semántica construida a partir de los códigos encontrados en el documento entregado por cada uno de los grupos que participaron.

Figura 7.

Red semántica para la identificación de modelos explicativos utilizados en la actividad 1.



Nota. Elaborado en Atlas.ti a partir de las respuestas de los grupos de trabajo.

De acuerdo con la red semántica mostrada en la Figura 18, se puede apreciar que el código “aclaración de significado” y “características del fenómeno” (ambos asociados a indicadores del uso de un modelo explicativo descriptivo (MED)) se encuentran en las explicaciones realizadas por todos los grupos, de la misma forma, el código “importancia del fenómeno” (asociado como indicador del modelo explicativo intencional (MEIc)), sin embargo, el código “relación causa-efecto” (indicador del modelo causal (MEC)), únicamente fue hallado en las explicaciones realizadas por el Grupo 1 y el Grupo 4. Sumado a esto, el enraizamiento (E), asociado a cada código indica la cantidad de citas asociadas que posee, por lo que, es posible presumir que, en la resolución de la actividad los participantes tienden a dar más respuestas desde un modelo explicativo descriptivo (MED) y en menor medida desde un modelo explicativo causal (MEC), mientras que, los modelos explicativos interpretativo (MEIr) y predictivo (MEP) no aparecen en sus explicaciones.

Teniendo en cuenta la cantidad de citas asociadas a cada código se amplía el análisis de las respuestas obtenidas por cada grupo de trabajo. En la Figura 8 se muestran algunos fragmentos de la red conceptual realizada por el Grupo 1.

Figura 8.

Fragmento de la red conceptual realizada por el Grupo 1.

RED CONCEPTUAL DE JENSEN SOBRE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS DE CuNPs			
CONCEPTO	NIVEL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Nanopartículas de Cobre (CuNPs)	Molecular	Composición y estructura	Nanopartículas metálicas con alta actividad antimicrobiana, sintetizadas a partir de cobre. Presentan una estructura cristalina y características fisicoquímicas únicas a escala nanométrica.
Antibióticos	Molar	Composición y estructura	Según Medina y Pieper, los antibióticos han sido fundamentales para salvar millones de vidas desde su descubrimiento. Además de tratar infecciones bacterianas, desempeñan
Toxicidad	Molecular	Tiempo	Las CuNPs pueden ser citotóxicas y genotóxicas, dependiendo de su tamaño, carga y concentración, afectando diversos órganos tras su inhalación o ingestión. Rajchakit & Sarojini (2017) explican que las nanopartículas, especialmente las de tamaño menor a 10 nm, pueden perturbar el entorno bioquímico celular al distribuirse en órganos como el hígado, corazón, bazo, cerebro, pulmones y tracto gastrointestinal tras su inhalación o ingestión (Marín et al., 2015). Factores como carga, concentración y composición también pueden aumentar su potencial tóxico, siendo las de origen metálico las más propensas a generar efectos adversos.

Nota. Tomada de las respuestas del Grupo 1.

Teniendo en cuenta las respuestas dadas por el grupo 1, que se muestran en la Figura 8, es posible darse cuenta de que la clasificación de los niveles y dimensiones de la estructura de la química en los que los participantes categorizan el concepto “antibiótico” pues la explicación de este está enmarcada en un nivel molar del discurso, sin embargo, la definición del concepto “nanopartícula” y “toxicidad” no son del todo pertinentes, pues, estas corresponden únicamente al nivel molar. Cuando nos referimos a una definición de nanopartícula en términos del nivel molecular es importante resaltar que su tamaño oscila entre 1 a 100 nm y que las propiedades se asocian al área superficial y la organización de los grupos de átomos que las conforman, además, para referirse a la citotoxicidad desde la dimensión tiempo es fundamental describir el mecanismo molecular bajo el cual ocurre dicha interacción.

Por otra parte, en cuanto a los modelos explicativos utilizados, se evidencian que mencionan algunas características del fenómeno, por ejemplo, cuando menciona que las nanopartículas *“presentan una estructura cristalina y características única a escala nanométrica”* (Grupo 1, 2024). Adicionalmente, establecen relaciones de causa-efecto donde afirman que *“factores como la carga, concentración y composición pueden aumentar el potencial tóxico, por lo que, las de origen metálico son más propensas a generar dichos efectos adversos”* (Grupo 1, 2024). Estas definiciones permiten identificar modelos explicativos descriptivos (MED) y causales (MEC). En la Figura 9 se muestra un fragmento de la red histórico-epistemológica construida por el grupo 1.

Figura 9.

Red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 1.

RED DE JENSEN PARA LA PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE LAS NANOPARTÍCULAS				
Contribución al desarrollo del concepto	Autor(es)	Nivel	Dimensión	Enunciado
Primer acercamiento a lo que era las nanopartículas.	Vidrieros romanos del siglo IV a.C.	Molar	Composición y estructura	La copa que representa la muerte del Rey Licurgo está hecha de vidrio de sosa y cal que contiene nanopartículas de oro y plata.
Fue unas de las primeras definiciones de nanotecnología brindando la idea principal de lo que consisten la nanotecnología	Taniguchi	Molar	Estructura y composición	“La nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, conciliación y deformación de materiales átomo por átomo molécula por molécula.”
Creación de materiales muy pequeños	Feynman	Molecular	Estructura y composición	Hablaba de la posibilidad de crear materiales desde una nueva perspectiva, basada en la manipulación y el control de los objetos tan pequeños como los propios átomos
Descubrimiento del nanotubo de carbono	Sumio Iijima	Molecular	Estructura y composición	Lámina de grafito enrolladas para formar un tubo, con enlaces al final de ella para cerrar sus extremos, dependiendo de su grado de enrollamiento y como se conforma la lámina original, se pueden dar distintos diámetros y

Nota. Tomada de las respuestas del Grupo 1.

En la red histórico-epistemológica, el Grupo 1 identifica de manera adecuada, tanto el nivel como la dimensión en la que se puede categorizar el aporte realizado a la contribución de conceptos asociados con las nanopartículas. Se evidencia la utilización de modelos explicativos (MED), puesto que, realizan algunas aclaraciones de significados, por ejemplo, cuando describen la definición de nanotecnología hecha por Norio Taniguchi en 1974.

Con respecto a las dos redes construidas por el Grupo 1, se realiza un análisis del nivel de profundidad de las explicaciones construidas, donde se utiliza la rúbrica de evaluación construida para analizar la actividad, en la cual se definieron como categorías lo “conceptual” y lo “histórico-epistemológico”, además de una escala de valoración que va de 1 a 4, donde 1 es bajo, 2 es insuficiente, 3 es aceptable y 4 es superior. En la Tabla 11 se muestran los resultados de la valoración de la actividad 1 para el grupo 1.

Tabla 11.

Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 1.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Conceptual	Presenta definiciones claras y coherentes de los conceptos.			X		La mayoría de las definiciones son claras, pero no son abordadas desde los niveles conceptuales bajo los cuales pueden ser entendidas.
	Las definiciones presentadas permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.			X		No es posible comprender la naturaleza de las propiedades ópticas, puesto que, las definiciones se encuentran un poco incompletas
	El concepto y la definición se enmarcan en el nivel y la dimensión conceptual expresado en la red.			X		Reconoce cuando el concepto se enmarca en un nivel molar, pero no en un nivel molecular.
Histórico-epistemológica	Las contribuciones históricas y epistemológicas presentadas contribuyen		X			Sí contribuyen, pero hace falta indagar en más momentos

al desarrollo y profundización del concepto.		históricos que permitieron lograr los avances actuales
Los enunciados presentados expresan correlación con el momento histórico descrito.	X	Los enunciados son acordes con el avance descrito.
Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.	X	Es importante ahondar con mayor profundidad en cómo se han ido construyendo el concepto de nanopartícula, para comprender sus propiedades.

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Teniendo en cuenta la valoración obtenida por el Grupo 1 en cada uno de los indicadores de la rúbrica mostrada en la Tabla 11, se puede establecer que de la máxima puntuación posible (24 puntos), el Grupo 1 obtiene una puntuación de 16, lo que indica que los participantes del grupo presentan un desempeño aceptable al reconocer y realizar explicaciones coherentes desde un nivel molar y molecular.

Para el caso del Grupo 2, también se analizaron las dos redes conceptuales. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de la resolución de la red conceptual de Jensen realizada por el Grupo 2, donde utilizan conceptos como “*nanomaterial*”, “*nanopartícula*”, entre otros, logrando establecer una diferencia notable entre conceptos.

Figura 10.

Red conceptual realizada por el Grupo 2.

RED CONCEPTUAL DE JENSEN SOBRE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS DE CuNPs			
CONCEPTO	NIVEL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Nanomateriales	Molar	Composición y estructura	material natural, accidental o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado, y en el que el 50 % o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más de las dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre un nanómetro y 100 nanómetros.
Nanotecnología	Molar	Composición y estructura	Esta rama tecnológica manipula la estructura molecular de los materiales para cambiar sus propiedades intrínsecas y obtener otros con aplicaciones revolucionarias.
Espectroscopia ultravioleta-visible:	Energía	Molecular	Es una espectroscopia de absorción en la que se ilumina una muestra con rayos electromagnéticos de varias longitudes de onda en el rango ultravioleta (UV) y visible (VIS).
Nanopartícula	Molar	Composición y estructura	Las nanopartículas o nanopartículas se refieren a un compuesto de unos pocos a unos pocos miles de átomos o moléculas. Su tamaño suele oscilar entre 1 y 100 nanómetros.
Difracción de rayos x	Energía	Molecular	Este tipo de análisis se ha incorporado al estudio de materiales en el área de nanociencias, debido a que la información que arroja un difractograma ayuda a determinar la estructura cristalina y la composición de un material, e incluso, a partir de un difractograma se pueden calcular los tamaños de grano

Nota. Tomada de las respuestas del Grupo 2.

En el ejemplo de la Figura 10, se puede apreciar que todas las definiciones realizadas por el Grupo 2 se enmarcan en un modelo explicativo descriptivo, puesto que, intentan aclarar el significado o establecer cuáles son características de cada uno de estos; mientras que, únicamente en el concepto de “Difracción de Rayos X” hacen una explicación desde un modelo explicativo intencional, pues mencionan la importancia de esta técnica en la siguiente afirmación: *“este tipo de análisis se ha incorporado al estudio de materiales en el área de las nanociencias, debido a que la información que arroja un difractograma ayuda a determinar la estructura cristalina y la composición de un material”* (Grupo 2, 2024). Adicionalmente, el grupo 2, confunde algunos niveles con algunas dimensiones afirmando que las explicaciones sobre las técnicas de caracterización, como la espectrofotometría UV-Vis y la Difracción de Rayos X, puedan hacerse

desde un “nivel energético” y una “dimensión molecular”, cuando realmente están ligadas a la interpretación de espectros, lo que Jensen clasificaría en un nivel eléctrico y una dimensión energética, puesto que, estos se basan en las interacciones entre los electrones y diversas formas de energía como espectroscopias de excitación y ionización, respectivamente, teniendo en cuenta que ambos métodos dependen de las transiciones electrónicas, lo que permite inferir o interpretar cómo es la estructura de dichas nanopartículas. Por otra parte, en la Figura 11 se muestra la red histórico-epistemológica desarrollada por el Grupo 2.

Figura 11.

Red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 2.

RED DE JENSEN PARA LA PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE LAS NANOPARTÍCULAS				
Contribución al desarrollo del concepto	Autor(es)	Nivel	Dimensión	Enunciado
Vidrios con diferentes colores si la radiación es incida o emitida	Vidrieros romanos	Molecular	Composición y estructura	Un material puede tener diferentes actividades ópticas
Se puede atacar un metal para por medios físicos disminuir su tamaño	Primeros avances	Eléctrico	Composición y estructura	Condensación de nanopartículas ionizando un metal con laser
Reconocimiento de Alótropos	Richard Fuller	Molecular	Composición y estructura	Diversas estructuras del mismo elemento Fullerenos, nanotubos y grafeno de carbono

Nota. Tomada de las respuestas del Grupo 2.

En cuanto a la red histórico-epistemológica mostrada en la Figura 11, se evidencia poco desarrollo en cuanto a todas las contribuciones que se han hecho para la construcción de conceptos como “nanopartícula” o “nanotecnología”. Además, la contribución de “*atacar un metal para por medios físicos disminuir su tamaño*” no puede enmarcarse desde un nivel eléctrico, sino que corresponde a una explicación adecuada desde el nivel molar. Se puede identificar únicamente el uso de modelos explicativos descriptivos (MED).

Al reconocer los modelos explicativos utilizados por el Grupo 2 en ambas redes de Jensen, se realiza la evaluación de la actividad siguiendo la rúbrica diseñada para tal fin, encontrando que,

los participantes pertenecientes a este grupo presentan algunas definiciones claras, sin embargo, algunas definiciones no permiten comprender todas las propiedades del fenómeno, como la coloración de las nanopartículas en suspensión o en los vidrios utilizados por los romanos (desde un aspecto molar), y el hecho de que muchas de sus funciones estén ligadas al área superficial que poseen, permitiendo explorar una definición también desde el nivel molecular. En la Tabla 12 se recoge la valoración obtenida en cada una de las categorías analizadas en la actividad 2, para el Grupo 2.

Tabla 12.

Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 2.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Conceptual	Presenta definiciones claras y coherentes de los conceptos.		X			
	Las definiciones presentadas permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.		X			Las explicaciones son insuficientes desde el nivel molar y molecular.
	El concepto y la definición se enmarcan en el nivel y la dimensión conceptual expresado en la red.		X			Se destaca el reconocimiento de alótropos del carbono, los cuales se definen desde lo molecular.
Histórico-epistemológica	Las contribuciones históricas y epistemológicas presentadas contribuyen al desarrollo y profundización del concepto.	X				
	Los enunciados presentados expresan correlación con el momento histórico descrito.		X			Presentan relación, pero son insuficientes para reconocer la construcción de conceptos
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.	X				

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Teniendo en cuenta la valoración obtenida por el Grupo 2 en cada uno de los indicadores de la rúbrica mostrada en la Tabla 12, se puede establecer que de la máxima puntuación posible (24 puntos), el Grupo 2 obtiene una puntuación de 10, lo que indica que a los participantes del grupo se les dificulta reconocer y realizar explicaciones coherentes desde los distintos niveles conceptuales (molar, molecular y eléctrico)

En cuanto a los resultados del grupo 3, se puede apreciar el uso de modelos explicativos descriptivos (MED) e intencionales (MEIc). Para ampliar esta categorización en la Figura 12 se muestran algunos fragmentos de la red conceptual construida por el Grupo 3.

Figura 12.

Red conceptual realizada por el Grupo 3.

RED CONCEPTUAL DE JENSEN SOBRE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS DE CuNPs			
CONCEPTO	NIVEL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Nano	molecular	Histórica Composición- Estructura	"Algo muy pequeño"
Nano partícula	molecular	Centífica Composición- Estructura	"la millonésima parte de algo". Hace referencia a la cantidad de átomos empaquetados hasta 100 nanómetros
Nanotubo	molar	Investigativa Composición- Estructura	Red cristalina que posee 2 dimensiones inferiores a los 100 nanómetros, o una porosidad definida de 0-100 nanómetros
Nanomaterial	molar	Histórico- Científico Composición- Estructura	Materiales, a nivel atómico, molecular macromolecular, con una de sus dimensiones es inferior a 100 nanómetros
Nanotecnología	molar	Composición- Estructura	Rama de estudio del desarrollo, determinación y caracterización para la manipulación de nanomateriales

Nota. Tomada de las respuestas dadas por el Grupo 3.

En la red conceptual del Grupo 3 (Figura 12) se observan conceptos fundamentales como “nanopartícula”, “nanomaterial” y “nanotecnología”, sin embargo, cuando hablamos de nanotubo y nanomaterial estas definiciones también deben ser reconocidas desde un nivel molecular, puesto que, se habla de interacciones a niveles moleculares; además, el concepto de “nanotecnología” debería ser complementado pues se sabe que existen diferentes tipos de nanomateriales, los cuales pueden tener una, dos o las tres dimensiones en una escala de 1 a 100 nanómetros. En cuanto a la definición del concepto nano y nanotecnología, descritos respectivamente por el Grupo 3, (2024) como *“algo muy pequeño”* y *“rama de estudio del desarrollo, determinación y caracterización para la manipulación de nanomateriales”*. Es posible determinar que realizan una aclaración del significado, pero no indagan en las características del fenómeno que definen, ni en relaciones o explicaciones de otro tipo. Por otra parte, en las definiciones de “nanotubo” y “nanotecnología”, recurren a mencionar las características del concepto por ejemplo la medida de las dimensiones y porosidad del material, por lo que, se evidencia el uso de modelos explicativos descriptivos (MED). La red histórico-epistemológica construida por el Grupo 3 se muestra en la Figura 13.

Figura 13.

Fragmentos de la red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 3.

RED DE JENSEN PARA LA PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE LAS NANOPARTÍCULAS				
Contribución al desarrollo del concepto	Autor(es)	Nivel	Dimensión	Enunciado
Utilidad de las nanopartículas	Antepasados llamados vidrieros romanos	Molar	Histórica (Siglo IV a. C) Estructura-Composición	“Los vidrieros romanos fabricaban cristales que contenían metales nanométricos. Un ejemplo de esto es la Copa que representa la muerte del Rey Licurgo, está hecha de vidrio de sosa y cal que contienen nanopartículas de oro y plata”

Conferencia en el ámbito de la nanotecnología	Richard Feynman	Molecular	Científica (1960) Energetico	“En esta plática propuso manipular los átomos individualmente para poder construir pequeñas estructuras que poseyeran la mayor variedad de propiedades. “
Desarrollo del término "nanotecnología"	Norio Taniguchi	Molecular	Investigativa (1974) Estructura-Composición	“Acuña el término por Norio Taniguchi para describir la manipulación y control de átomos y moléculas. Establecimiento del concepto moderno de nanotecnología”.

Desarrollo de nanomateriales en la industria alimentaria	USA	Molar	(Investigativa) científico Composición Investigativa	Creación de nanopartículas con propiedades antibacterianas para mejorar la seguridad y conservación de alimentos.
Nanotecnología en el tratamiento de agua	USA - India - UEA	Molar	Investigativa (científico) Composición Investigativa	Desarrollo de sistemas para mejorar la purificación y desalinización del

Nota. Tomada de las respuestas dadas por el Grupo 3.

En el caso del Grupo 3, se evidenció una red histórico-epistemológico muy completa para comprender cómo se han ido construyendo algunos conceptos en torno a la nanotecnología. Además, realizan una buena distinción sobre el nivel y dimensión desde el cual se postulan cada una de las contribuciones recopiladas. En cuanto a los modelos explicativos que se pueden identificar se encuentra el descriptivo (MED) y el intencional (MEIc), por ejemplo, las descripciones realizadas por Richard Feynman en 1960, se puede apreciar una aclaración de significados en torno a lo que sería el primer acercamiento para definir el concepto de nanopartícula, y en cuanto a la primera definición de nanotecnología hecha por Taniguchi. Por

otra parte, las contribuciones realizadas en torno al desarrollo de nanomateriales en la industria alimentaria y el tratamiento de agua permiten comprender cómo el avance tecnológico y científico permiten resaltar la importancia de la nanotecnología en diversas áreas, resaltan un modelo explicativo intencional (MEIc). En la Tabla 13 se muestra la valoración final de la actividad para el Grupo 3.

Tabla 13.

Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el grupo 3.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Conceptual	Presenta definiciones claras y coherentes de los conceptos.			X		
	Las definiciones presentadas permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.		X			Las explicaciones son insuficientes desde el nivel molar y molecular.
	El concepto y la definición se enmarcan en el nivel y la dimensión conceptual expresado en la red.		X			Para el caso de conceptos como “nanopartícula” y “nanomaterial” el nivel conceptual también es el molecular
Histórico-epistemológica	Las contribuciones históricas y epistemológicas presentadas contribuyen al desarrollo y profundización del concepto.				X	La red histórico-epistemológica es muy completa y presenta fielmente la construcción de conceptos
	Los enunciados presentados expresan correlación con el momento histórico descrito.				X	
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.			X		

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Teniendo en cuenta la valoración obtenida por el Grupo 3 en cada uno de los indicadores de la rúbrica mostrada en la Tabla 13, se puede establecer que de la máxima puntuación posible (24 puntos), el Grupo 1 obtiene una puntuación de 17, lo que indica que los participantes del grupo

presentan un desempeño aceptable al reconocer y realizar explicaciones coherentes desde un nivel molar y molecular, sin embargo, se les dificulta o no realizan explicaciones desde el nivel eléctrico.

En el análisis de las redes construidas por el Grupo 4 se evidencian citas que se asocian a modelos explicativos descriptivos (MED), causales (MEC) e intencionales (MEIc). En la Figura 14, se muestra un fragmento de la red conceptual presentada por el Grupo 4.

Figura 14.

Fragmento de la red conceptual realizada por el Grupo 4.

RED CONCEPTUAL DE JENSEN SOBRE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS DE CuNPs			
CONCEPTO	NIVEL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Nanopartícula	1	Composición y estructura	Al momento de oxidarse o reducirse, tras un pretratamiento presenta un tamaño menor a 100 nm, como ejemplo el radio atómico del cobre es de 0,39 nm, por lo que para considerarse nanopartícula debe haber 39 átomos de cobre.
Nanomaterial	1	Composición y estructura	Según Camacho et al (2017) Son partículas las cuales pueden llegar a generar un aglomerado, el 50% o más partículas pueden llegar a presentar tamaños mayores a 100nm.
Closters metálicos	1	Composición y estructura	Son denominados de esta manera aquellos enlaces los cuales presenta una unión metal-metal, donde para generar una nanopartícula es necesario 3-20 átomos metálicos
Plasmon superficial	1	Composición y estructura	Son las oscilaciones equitativas que se generan en los elementos metálicos o semiconductores, siendo también un método óptico para visualizar el comportamiento o tamaño de partículas presentes en una solución.
Nucleación	2	energía	Existe tanto nucleación heterogénea como homogénea, en el caso de síntesis de nanopartículas de Cu se utiliza el método de nucleación homogéneas, dónde se genera por medio de fluctuaciones térmicas de las partículas más pequeñas.

Nota. Tomada de las respuestas dadas por el Grupo 4.

Con respecto a los conceptos detallados por el Grupo 4 en la Figura 14, se puede afirmar que, algunos de estos no se encuentran bien relacionados con el nivel conceptual, por ejemplo, aunque los conceptos “nanopartícula” y “nanomaterial” pueden ser descritos desde un nivel molar, es importante recalcar que cuando se establecen parámetros como el tamaño o la interacción de una cantidad específicas de átomos, la explicación también se aborda desde el nivel molecular, de la misma forma ocurre con el concepto “nanomaterial”. Por otro lado, cuando se habla del “plasmón superficial”, es importante ubicarse desde el nivel eléctrico, puesto que, debe ser comprendido desde las interacciones entre los electrones libres presentes en la superficie de nanopartículas metálicas y la radiación UV-Vis, lo que hace que se genere un desplazamiento en la longitud de onda de máxima absorbancia. En todas las definiciones realizadas por el Grupo 4 se evidencia una aclaración de significados y la mención de algunas características como el tamaño de las nanopartículas, lo que permite clasificar las respuestas en un modelo explicativo descriptivo (MED). En la Figura 15 se muestra un fragmento de la red histórico-epistemológica construida por el Grupo 4.

Figura 15.

Fragmentos de la red histórico-epistemológica realizada por el Grupo 4.

RED DE JENSEN PARA LA PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE LAS NANOPARTÍCULAS				
Contribución al desarrollo del concepto	Autor(es)	Nivel	Dimensión	Enunciado
No hay concepto, solo se emplea a nivel estético en obras de arte y demás estructuras. Así mismo, era muy experimental.	Alonso, J et al (2015)	Molar	Composición y estructura	El Siglo IV a.C. los vidrieros romanos fabricaban cristales que contenían metales nanométricos
No hay concepto solo surge la filosofía de la escuela atomista.	Alonso, J et al (2015)	Molar	Composición y estructura	Fue alrededor del año 450 a.C. cuando surgió la filosofía de la escuela atomista. (Bloque que componen la materia y el universo).
Surge el concepto de la discontinuidad de la materia.	Demócrito y Leucipo	Energía	Molecular	Proponen la “Discontinuidad de la materia”, la cual consistía en que la materia podía ser dividida indeterminadamente hasta obtener pequeñas partículas indivisibles, conociéndoseles como átomos.

No hay concepto preciso, solo hay estudios y especulaciones sobre el potencial.	Feynman	Molar	Composición y estructura	En 1960 Feynman presenta una conferencia donde especuló sobre el potencial y las grandes posibilidades en el estudio del área de lo nanométrico.
Se crea el concepto de nanotecnología	Prof. Norio Taniguchi	-	-	En 1974 se crea el concepto de "Nanotecnología" por Prof. Norio Taniguchi
No hay concepto, sin embargo, se producen nuevos métodos	Alonso, J et al (2015)	Eléctrica	Energía	En 1980 se dio la aparición de nuevos métodos, más apropiados para el estudio y fabricación de nanoestructuras.
No hay concepto, pero se establecen varios métodos.	Alonso, J et al (2015)	Eléctrica	Energía	En 1981 se desarrolla un método para obtener cúmulos metálicos con un láser concentrado que permitiera vaporizar metales y formar plasma.

Nota. Tomada de las respuestas dadas por el Grupo 4.

En cuanto a la información presentada en la Figura 15 es posible encontrar fragmentos asociados con el modelo explicativo descriptivo (MED), como la aclaración del significado de “discontinuidad de la materia”, el concepto de “nanotecnología” y “características en torno a métodos de obtención de nanopartículas o cúmulos de metales”. Además, se evidencia el modelo explicativo intencional (MEIc) en algunos de los acontecimiento descritos como la aparición de nuevos métodos para fabricar y estudiar nanoestructuras, mencionando la importancia, los alcances del fenómeno que se estudia. Algunas clasificaciones con respecto al nivel y dimensión no son las más adecuadas, pues conceptos como la “discontinuidad de la materia” y los nuevos métodos desarrollados se enmarcan desde una perspectiva molecular. Para finalizar con el análisis de la primera actividad, en la Tabla 14 se presenta la valoración para el Grupo 4.

Tabla 14.

Rúbrica de evaluación de la actividad 1 para el Grupo 4.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Conceptual	Presenta definiciones claras y coherentes de los conceptos.		X			
	Las definiciones presentadas permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.		X			Las explicaciones son insuficientes desde el nivel molecular.

Histórico-epistemológica	El concepto y la definición se enmarcan en el nivel y la dimensión conceptual expresado en la red.	X	No todas las explicaciones son pertinentes desde los niveles descritos por el grupo.
	Las contribuciones históricas y epistemológicas presentadas contribuyen al desarrollo y profundización del concepto.	X	
	Los enunciados presentados expresan correlación con el momento histórico descrito.	X	Presentan relación, pero son insuficientes para reconocer la construcción de conceptos
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender cuales son las propiedades del fenómeno.	X	Si bien el grupo recopila contribuciones importantes, no las utiliza para describir a profundidad las propiedades de las nanopartículas

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Teniendo en cuenta la valoración obtenida por el Grupo 4 en cada uno de los indicadores de la rúbrica mostrada en la Tabla 14, se puede establecer que de la máxima puntuación posible (24 puntos), el Grupo 4 obtiene una puntuación de 14, lo que indica que los participantes del grupo presentan un desempeño aceptable al reconocer y realizar explicaciones coherentes desde un nivel molar, pero se les dificulta reconocer cuando las explicaciones deben realizar también desde un nivel conceptual molecular para ser complementadas.

Esta actividad permite demostrar que, la enseñanza contextualizada en la historia y la epistemología de un concepto o temática es fundamental para comprender las propiedades de las nanopartículas, y permite fortalecer las bases conceptuales para realizar explicaciones descriptivas e intencionales cada vez más complejas. Con respecto a los modelos explicativos encontrados en el análisis de la actividad, se establece el nivel de profundidad de las explicaciones hechas por todos los grupos siguiendo la misma rúbrica utilizada en la prueba de entrada y de salida, en la cual se establecen cuatro niveles de profundidad (1=bajo; 2=insuficiente; 3=aceptable y 4=superior). En la Tabla 15 se evidencia lo descrito anteriormente.

Tabla 15.

Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 1.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD 1			
Grupo (G)	Modelo(s) explicativo(s)	Nivel de profundidad	Puntuación obtenida en la actividad
G1	Descriptivo (MED)	3	16 puntos
	Intencional (MEIc)	2	
	Causal (MEC)	2	
G2	Descriptivo (MED)	2	10 puntos
	Intencional (MEIc)	2	
G3	Descriptivo (MED)	3	17 puntos
	Intencional (MEIc)	2	
G4	Descriptivo (MED)	3	14 puntos
	Intencional (MEIc)	3	
	Causal (MEC)	2	

Nota. Elaboración propia a partir del análisis realizado en la actividad 1.

7.4. Actividad 2 – Laboratorio de síntesis de nanopartículas de especies de cobre

Es importante aclarar que para poder desarrollar el método de síntesis utilizado en esta actividad, la práctica fue desarrollada en primer momento por la investigadora y después de analizar varios procesos de síntesis, como la coprecipitación, se optó por un proceso de síntesis basado en la técnica del poliol asistido, en el cual de acuerdo con Guzmán Duxtan et al., (2020), “los reactivos que se utilizan para preparar las nanopartículas de cobre (CuNPs) son el Etilenglicol (EG) como solvente, el acetato de cobre ($\text{Cu}(\text{Ac})_2$), como sal precursora, la polivinilpirrolidona (PVP) como agente dispersante, y el ácido ascórbico (AA) y ácido cítrico (AC) como agentes reductores” (p.1).

A continuación, se describen los resultados más importantes, encontrados únicamente a través de las prácticas realizadas antes del desarrollo de la secuencia didáctica para poder establecer un proceso de síntesis exitoso:

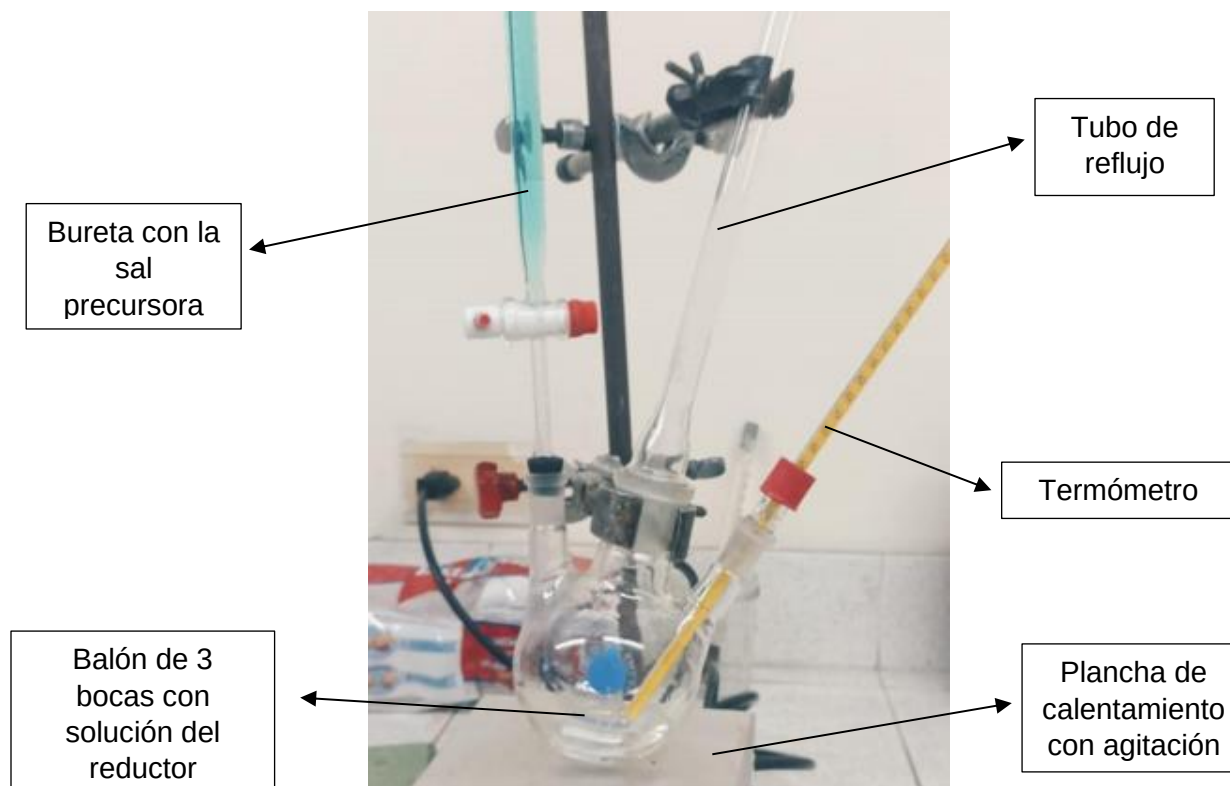
- En el caso de esta investigación, no se utilizó el PVP, pues se concluyó que el etilenglicol también podía ser funcional para dispersar y evitar que las nanopartículas se agruparan, generando una estabilidad aceptable en las suspensiones obtenidas.
- Es fundamental que el proceso se desarrolle a una temperatura que oscile entre los 70-80 °C para favorecer la reacción termodinámicamente.

- La agitación constante es fundamental para que, al momento de mezclar gota a gota la sal precursora con los agentes reductores, esta pueda dispersarse de forma homogénea en la solución de ácido ascórbico.
- La mezcla de reactivos debe hacerse por medio de una bureta, utilizando un goteo lento y constante.
- La concentración de los reactivos es fundamental, en este caso, se comprobó lo descrito por Guzmán Duxtan et al., (2020), respecto a las relaciones molares entre el agente reductor y la sal precursora, por lo que, es muy importante que el ácido ascórbico se encuentre a una concentración más alta que el acetato de cobre, aproximadamente en una relación molar de 2,5 o mayor.
- La presencia de agua influye en la oxidación de las nanopartículas, por lo que, se recomienda que todas las soluciones se preparen en etilenglicol para favorecer la estabilidad de la suspensión obtenida.

Finalmente, en la Figura 16 se muestra el montaje planteado para el desarrollo del trabajo práctico de laboratorio.

Figura 16.

Montaje diseñado para la síntesis de nanopartículas de cobre.

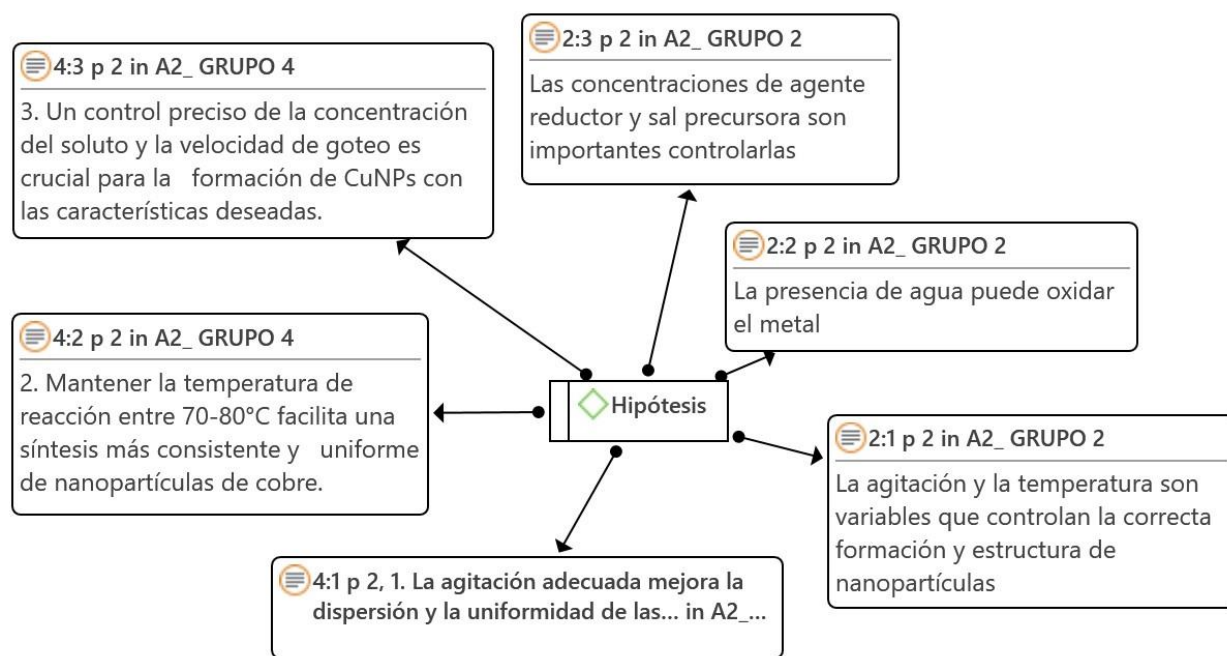


Nota. Este montaje fue diseñado por la investigadora para la síntesis de nanopartículas de cobre.

En la fase de percepción e identificación del problema se realizó una explicación sobre las problemáticas asociadas a la síntesis de nanopartículas, entre las cuales se encuentran el uso de reactivos costosos y en ocasiones peligrosos, el control de variables como la temperatura, la agitación y la concentración de reactivos; lo que dificulta la adaptación de estas prácticas en los laboratorios de docencia. Adicionalmente, en esta fase los participantes debían indagar sobre los factores que permitirían resolver la problemática, plantear hipótesis e identificar las variables más significativas y por qué. En la Figura 17 se recopilan las hipótesis de los participantes después de la indagación del material de apoyo compartido, además de la revisión del guion de laboratorio entregado, en el cual a cada grupo se le asignó una variable por controlar.

Figura 17.

Red semántica sobre las hipótesis de los participantes.



Nota. Elaborada en Atlas.ti a partir del análisis de la actividad 2 desarrollada por los participantes.

Con respecto a la información de la Figura 17, es importante mencionar que, al analizar material de apoyo, los participantes mencionan como hipótesis o factores para tener en cuenta, los que con anterioridad fueron comprobados experimentalmente. Con esta primera pregunta, se buscaba que los participantes utilizaran modelos explicativos interpretativos (MEIr), pues sus

explicaciones están dadas desde el qué componente al fenómeno de estudio, además indagan en la naturaleza de este y utilizan la teoría para realizar hipótesis o conclusiones.

En la fase de planificación se plantearon las siguientes preguntas:

Pregunta 1. ¿cuál es la variable dependiente e independiente?

Pregunta 2. ¿cómo puede medirse la variable dependiente?

Pregunta 3. ¿cómo puede variarse y medirse la variable independiente?

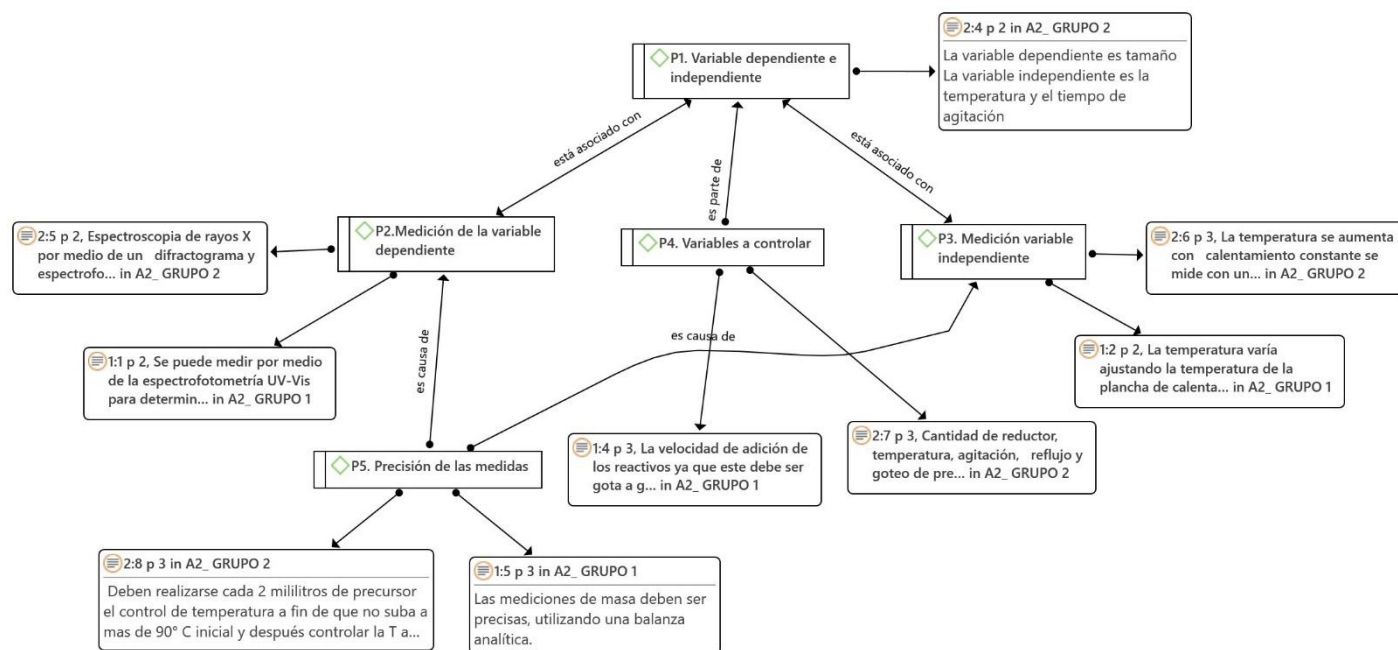
Pregunta 4. ¿cuáles son las variables que se deben controlar?

Pregunta 5. ¿con qué precisión deben realizarse las medidas?

En la Figura 18 que se muestra a continuación se muestra la red semántica donde se incluyen algunas de las respuestas dadas por los grupos de trabajo a las preguntas planteadas anteriormente.

Figura 18.

Red semántica para la fase de planificación.



Nota. Elaborada en Atlas.ti a partir del análisis de la actividad 2 desarrollada por los participantes.

En general, los grupos de trabajo coinciden en que la variable dependiente es el tamaño y la forma de las nanopartículas, la variable independiente es la temperatura, el tiempo de agitación

y algunos casos mencionan el goteo. Además, describen que se debe controlar la velocidad de adición de los reactivos, la cantidad de reactivos, la temperatura y la agitación. Finalmente, la variable dependiente se puede medir mediante técnicas como la Difracción de Rayos X, mientras que las variables independientes, como la temperatura, puede ser medidas por un termómetro.

En esta parte de la actividad se evidencia que los participantes utilizan modelos explicativos descriptivos (MED), pues recurren a mencionar las características del fenómeno, además buscan interpretar la teoría para establecer conclusiones relacionadas a la naturaleza del fenómeno abordado, lo que permite identificar explicaciones asociadas con el modelo explicativo interpretativo (MEIr).

En la fase realización se describen los materiales, equipos y reactivos utilizados en la práctica, el procedimiento detallado para la síntesis, el lavado y el secado de las nanopartículas que se obtienen en suspensión, además del proceso para la lectura de la muestra por espectrofotometría UV-Vis. Posteriormente, en la fase de interpretación y evaluación se solicitó a los participantes realizar una comparación de los resultados y un análisis de estos. Para el análisis de esta fase se diseñó una rúbrica de evaluación, la cual consta de dos categorías: *descripción e interpretación*, siguiendo una escala de valoración de 1 a 4, para posteriormente sumar la valoración obtenida en cada enunciado y así obtener una puntuación de la actividad (la puntuación máxima es de 28, suponiendo que obtenga una valoración de 4 en todos los enunciados y la puntuación más baja posible es de 1), sin embargo, el nivel de profundidad de los modelos explicativos utilizados se categoriza con la rúbrica establecida de forma general para todas las actividades de la secuencia.

Para el desarrollo de la práctica, cada grupo debía controlar una variable, que podía ser temperatura o agitación magnética y no podía modificar la otra variable, con la finalidad de establecer comparaciones. El Grupo 1 debía mantener constante la temperatura, es decir, que no modificaron la agitación magnética. En la Figura 19 se muestran los resultados y análisis realizados por el Grupo 1.

Figura 19.

Resultados de la actividad 2 del Grupo 1.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL GRUPO	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO CON OTROS GRUPOS	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADOS CON LA LITERATURA
- En cuanto a la síntesis de las CuNPs y teniendo en cuenta que la variable que se debía mantener constante era la temperatura la coloración obtenida fue de color marrón dejando en evidencia la formación de dichas nanopartículas, es importante mencionar que a medida que el precursor iba cayendo gota a gota sobre el AA inicialmente se evidenciaba una coloración amarilla indicando la reducción del cobre. 	- En cuanto a los grupos que debían mantener constante la variable agitación se pudo evidenciar de igual manera la formación de CuNPs debido a la coloración marrón obtenida. 	- De acuerdo con la literatura la coloración que deja en evidencia la formación de CuNPs es el color marrón, ahora lo que sucede a nivel químico es que cuando el acetato de cobre se disuelve forma iones Ac^- y Cu^{+2} haciendo que estos reaccionen con el ácido ascórbico para reducir el Cu^{+2} a Cu^+ donde inicialmente se evidencia una coloración amarilla, sin embargo, seguidamente el AA sigue reduciendo el cobre hasta formar CuNPs metálicas.

Nota. Tomado de las evidencias aportadas por el Grupo 1.

Con base en los resultados mostrados en la Figura 19 se realizó una valoración, siguiendo la rúbrica diseñada para el análisis de la actividad, la cual se dispone en la Tabla 16.

Tabla 16.

Rúbrica de evaluación para el desempeño del Grupo 1 en la actividad 2.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN PARA LA SESIÓN 2						
ACTIVIDAD	Informe ilustrado de laboratorio de síntesis de CuNPs					
ENFOQUE	Modelo Explicativo Descriptivo (MED) e Interpretativo (MEIr)					
PREGUNTA GUÍA DEL MED	¿Cuáles son las propiedades del fenómeno?					
PREGUNTA GUÍA DEL MEIr	¿De qué se compone el fenómeno?					
CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	

Descripción	Realiza descripciones coherentes y pertinentes de la práctica desarrollada.	X
	Las descripciones presentadas permiten comprender el procedimiento realizado y el por qué utilizar dicha técnica.	X
	Recorre a la teoría para explicar sus resultados de forma acertada y coherente.	X
	Describe el fenómeno estudiado desde las partes que lo componen y sus propiedades.	X
Interpretación	Presenta ilustraciones, esquemas y/o fotografías que permiten explicar el proceso de síntesis a través de la interpretación y comparación recurriendo a la teoría	X
	Realiza representaciones coherentes que permiten comprender la naturaleza del proceso de síntesis y las características que lo componen.	X
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender las variables fundamentales que componen el proceso de la síntesis de nanopartículas de cobre.	X

Nota. Elaboración propia.

La valoración para el Grupo 1, tal como se muestra en la Tabla 16, es de 16 puntos, por lo que es posible afirmar que si bien, obtuvieron los resultados esperados en la primera parte de la práctica, no ahondaron en hacer una revisión precisa y detallada de la literatura para sustentar sus hallazgos, adicionalmente, se evidencia que realizan interpretación de resultados a través de la teoría y describen algunas características importantes relacionadas con el control de variables como la temperatura y la agitación, por ende, en sus explicaciones muestran un modelo explicativo descriptivo (MED) e interpretativo (MEIr).

Para el caso del Grupo 2, en la Figura 20 se puede evidenciar que no realizan explicaciones detalladas de los resultados de la práctica. Este grupo debía mantener únicamente estable la temperatura y al terminar la reacción realizar un proceso de agitación de 15 minutos. Se aprecia también que sus explicaciones son descriptivas e interpretativas siguiendo la teoría consultada, pero carecen de profundidad.

Figura 20.

Resultados de la actividad 2 del Grupo 2.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL GRUPO	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO CON OTROS GRUPOS	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADOS CON LA LITERATURA
Se obtuvieron partículas de cobre color marrón, se observaba al principio de la reacción una tonalidad amarilla pero debido al factor temperatura y exceso de reductor se redujo el cobre de 2+ a 0 y se logro que las partículas no se aglomeraran gracias a una agitación final la cual seguía a alta temperatura.		Se pudo observar en la reacción como se produjo un intermedio de reacción color amarillo perteneciente a Cu ¹⁺ en la interfase para luego gracias al agente reductor pasar a Cu ²⁺ , Las nanopartículas de cobre lograron tener un tamaño menor a 230 nm por lo que el método de síntesis en calor se sugiere realizarse mejor en agitación

Nota. Tomada de las evidencias del Grupo 2.

Por ende, en la Tabla 17 se evidencia la valoración obtenida por el grupo en cada uno de los enunciados lo que deriva en una puntuación final de 11 puntos, pues la información presentada no es adecuada con respecto a todo el proceso realizado.

Tabla 17.

Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el Grupo 2.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
	Realiza descripciones coherentes y pertinentes de la práctica desarrollada.		X			
	Las descripciones presentadas permiten	X				

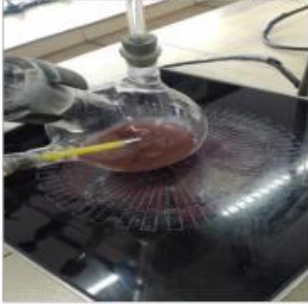
Descripción	comprender el procedimiento realizado y el por qué utilizar dicha técnica.	
	Recorre a la teoría para explicar sus resultados de forma acertada y coherente.	X
	Describe el fenómeno estudiado desde las partes que lo componen y sus propiedades.	X
Interpretación	Presenta ilustraciones, esquemas y/o fotografías que permiten explicar el proceso de síntesis a través de la interpretación y comparación recurriendo a la teoría	X
	Realiza representaciones coherentes que permiten comprender la naturaleza del proceso de síntesis y las características que lo componen.	X
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender las variables fundamentales que componen el proceso de la síntesis de nanopartículas de cobre.	X

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

El Grupo 3 se alteró y controló tanto la variable temperatura como la variable agitación, los resultados y análisis se muestran en la Figura 21.

Figura 21.

Fragmento de los resultados de la actividad 2 del Grupo 3.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL GRUPO	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO CON OTROS GRUPOS	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADOS CON LA LITERATURA
1. Adición de la sal de cobre, controlando el goteo y agitación. 	1. Se controló el goteo y la agitación. 	Se evidenció la formación de un coloidal, rojizo solo con la agitación, cambiando a color café para tomar un tono uva. Además, se evidenció la formación de sólidos en las paredes del balón de reacción y al adicionar el ácido cítrico, se evidenció la formación de un sólido color negro, lo que sugiere la presencia de un óxido.
2. Control de la temperatura mientras se agitaba y se agregaba la sal precursora de cobre 	2. Al diferenciar y no controlar el goteo, el coloidal formado, en uno de los otros grupos, se desplazó hacia el color amarillo, por lo que sugiere que es un punto clave para la formación del producto deseado. 	Por otra parte, en el análisis de los resultados obtenidos en nuestro grupo para la síntesis de nanopartículas de cobre por el método poliol adaptado, se observó que la manipulación cuidadosa de variables como la velocidad de goteo durante la adición de la sal precursora y el ácido
	3. Se controlaron las variables de goteo y calor. 	con características deseadas. Este control permitió mantener la formación de un coloide de color marrón-rojizo consistente con la presencia de CuNPs, como se esperaba según la literatura consultada. Además, el proceso de lavado y secado demostró ser efectivo, mostrando la separación satisfactoria de las CuNPs del sobrenadante y su posterior recuperación mediante centrifugación y lavado con etanol, seguido de secado a 60°C. Esta metodología aseguró la obtención de un producto final adecuadamente caracterizado y listo para análisis posteriores de propiedades físicas y aplicaciones potenciales.
4. Control de la variable temperatura, haciendo uso de la placa o plancha calefactora 	4. Para el grupo que usaba directamente calor inicialmente, se evidenció que tomaba tonos más oscuros, de color café, por lo que sugiere la formación de un coloidal de tamaño diferente. Posteriormente, al adicionarle la agitación, el tono del coloidal sugiere disminuir el tamaño de la nanopartícula, al presentar cambio en su coloración. En este caso podría ser óxidos de cobre.	Al comparar nuestros resultados con los obtenidos por otros grupos, se destacó la influencia significativa del

Nota. Tomada de las evidencias del Grupo 3.

El Grupo 3 logra establecer análisis precisos y coherentes desde la comparación de su procedimiento, con el de otros grupos y con resultados registrados en la literatura, señalando que, por ejemplo, la coloración de la suspensión obtenida es clave para identificar de qué especie de cobre se tratan las nanopartículas obtenidas. En la Tabla 18 se realiza la valoración por enunciados de la actividad desarrollada, obteniendo en total 22 puntos.

Tabla 18.

Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el grupo 3.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Descripción	Realiza descripciones coherentes y pertinentes de la práctica desarrollada.			X		
	Las descripciones presentadas permiten comprender el procedimiento realizado y el por qué utilizar dicha técnica.				X	
	Recurrir a la teoría para explicar sus resultados de forma acertada y coherente.			X		
	Describe el fenómeno estudiado desde las partes que lo componen y sus propiedades.			X		
Interpretación	Presenta ilustraciones, esquemas y/o fotografías que permiten explicar el proceso de síntesis a través de la interpretación y comparación recurriendo a la teoría			X		
	Realiza representaciones coherentes que permiten comprender la naturaleza del proceso de síntesis y las características que lo componen.			X		
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender las variables fundamentales que componen el proceso			X		

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Es importante resaltar que el Grupo 3 presenta análisis más detallados, y recurre al modelo explicativo descriptivo (MED) y al modelo interpretativo (MEIr), para sustentar sus resultados de manera precisa, lógica y coherente, estableciendo conclusiones sobre cómo las variables temperatura, agitación y goteo influyen en la calidad de las nanopartículas, lo que podría incluso categorizarse en un modelo explicativo predictivo (MEP), pues intenta anticipar el comportamiento del fenómeno estudiado en caso de que la variables analizadas tuviesen valores de medida diferentes.

Por otra parte, el Grupo 4 empezó controlando únicamente la agitación y al terminar de mezclar los precursores, calentaron la muestra obtenida hasta alcanzar una temperatura de entre 70-80 °C, por al menos 15 minutos. En la Figura 22 se muestran los resultados descritos por el Grupo 4.

Figura 22.

Resultados de la actividad 2 del Grupo 4.



RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL GRUPO	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO CON OTROS GRUPOS	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADOS CON LA LITERATURA
Al principio, al medir sólo la agitación, nuestra muestra presentó una coloración variable, lo que indicaba una reacción incompleta o una mezcla no homogénea. A bajas rpm, la muestra no se mezclaba adecuadamente, mientras que a altas rpm mostró una coloración más intensa y homogénea, sugiriendo una mejor dispersión de las nanopartículas. La falta de control de la temperatura desde el comienzo resultó en una síntesis inconsistente, pero al mantenerla entre 70-80°C, se observó una coloración marrón-rojiza uniforme, sin embargo un tanto oscura.	El procedimiento con el que debíamos de iniciar era el de agitación, posteriormente se aplicaba la temperatura. Inicialmente la coloración del otro grupo el cuál estaba realizando el mismo proceso que el del grupo 4, se denotaba de color rojizo un poco oscuro, sin embargo su coloración no disminuyó tan notoriamente, conforme la agitación mantuvo esa tonalidad, luego de agregar el ácido cítrico se torna de una coloración rojiza clara, conforme se le aplica la temperatura, se pone de una coloración rojiza oscura como marrón. Respecto a los otros grupos se evidencia una coloración rojiza oscura.	Al medir solo la agitación, nuestra muestra presentó una coloración variable, indicando una mezcla no homogénea. A altas rpm, la coloración fue más intensa y homogénea, sugiriendo una mejor dispersión de las nanopartículas. La síntesis fue inconsistente sin controlar la temperatura, pero mantenerla entre 70-80°C resultó en una coloración marrón-rojiza uniforme. La concentración del soluto y la velocidad de goteo también afectaron significativamente el resultado. Comparado con la literatura, nuestro procedimiento se alineó con el método descrito por Guzmán Duxtan et al. (2020), que también destaca la importancia del control de la agitación, la temperatura, y la purificación mediante centrifugación y lavado. Ambos métodos demuestran que el control preciso de estas variables es crucial para la síntesis eficiente y reproducible de nanopartículas de cobre.

Nota. Tomado de las evidencias del grupo 4.

Siguiendo las explicaciones dadas por el Grupo 4, en la Tabla 19 se muestra la valoración obtenida en cada uno de los enunciados que describen las categorías de análisis, lo que deriva en un puntaje general de 14 puntos.

Tabla 19.

Rúbrica de evaluación de la actividad 2 para el Grupo 4.

CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	

Descripción	Realiza descripciones coherentes y pertinentes de la práctica desarrollada.	X
	Las descripciones presentadas permiten comprender el procedimiento realizado y el por qué utilizar dicha técnica.	X
	Recurrir a la teoría para explicar sus resultados de forma acertada y coherente.	X
	Describe el fenómeno estudiado desde las partes que lo componen y sus propiedades.	X
Interpretación	Presenta ilustraciones, esquemas y/o fotografías que permiten explicar el proceso de síntesis a través de la interpretación y comparación recurriendo a la teoría	X
	Realiza representaciones coherentes que permiten comprender la naturaleza del proceso de síntesis y las características que lo componen.	X
	Las contribuciones y enunciados presentados permiten comprender las variables fundamentales que componen el proceso de la síntesis de nanopartículas de cobre.	X

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Dentro de las explicaciones realizadas por el Grupo 4, se pueden apreciar modelos explicativos descriptivos (MED) e interpretativos (MEIr), pues los participantes hacen referencia a las características de componen el fenómeno, la naturaleza de este y son capaces de validar sus resultados con apoyo de la literatura. Finalmente, en la Tabla 20 se muestra la categorización realizada para la actividad 2.

Tabla 20.

Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 2.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD 2			
Grupo (G)	Modelo(s) explicativo(s)	Nivel de profundidad	Puntuación obtenida en la actividad
G1	Descriptivo (MED)	2	16 puntos
	Interpretativo (MEIr)	2	
G2	Descriptivo (MED)	2	11 puntos
	Interpretativo (MEIr)	1	
G3	Descriptivo (MED)	3	22 puntos
	Interpretativo (MEIr)	2	
	Predictivo (MEP)	1	
G4	Descriptivo (MED)	3	14 puntos
	Interpretativo (MEIr)	2	

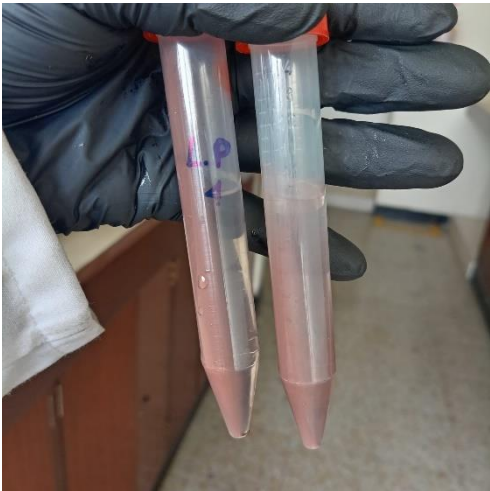
Nota. Elaboración propia a partir del análisis realizado en la actividad 2.

Los procesos de lavado, centrifugado y secado de las nanopartículas de cobre obtenidas por los grupos de trabajo fueron realizados por la investigadora, teniendo en cuenta, las limitaciones de tiempo, esto con la finalidad de poder tener las nanopartículas en forma de polvo para la sesión 3 en la cual se planteó la lectura por Espectrofotometría UV-Vis. En la Figura 23 se compilan algunas evidencias de este proceso.

Figura 23.

Evidencias del proceso de lavado y centrifugado de las nanopartículas en suspensión obtenidas por los participantes.

	Después de la síntesis es importante esperar al menos 24 horas a que las nanopartículas se decanten y sea más sencillo extraer el sobre nadante.
	Se extrae el sobrenadante, conocido como residuo teniendo cuidado de no extraer el precipitado.

	
	Se realizan lavados con agua destilada (al menos 3) y después de cada lavado. Finalmente se lava con etanol y se centrifuga, intentado no extraer el precipitado.

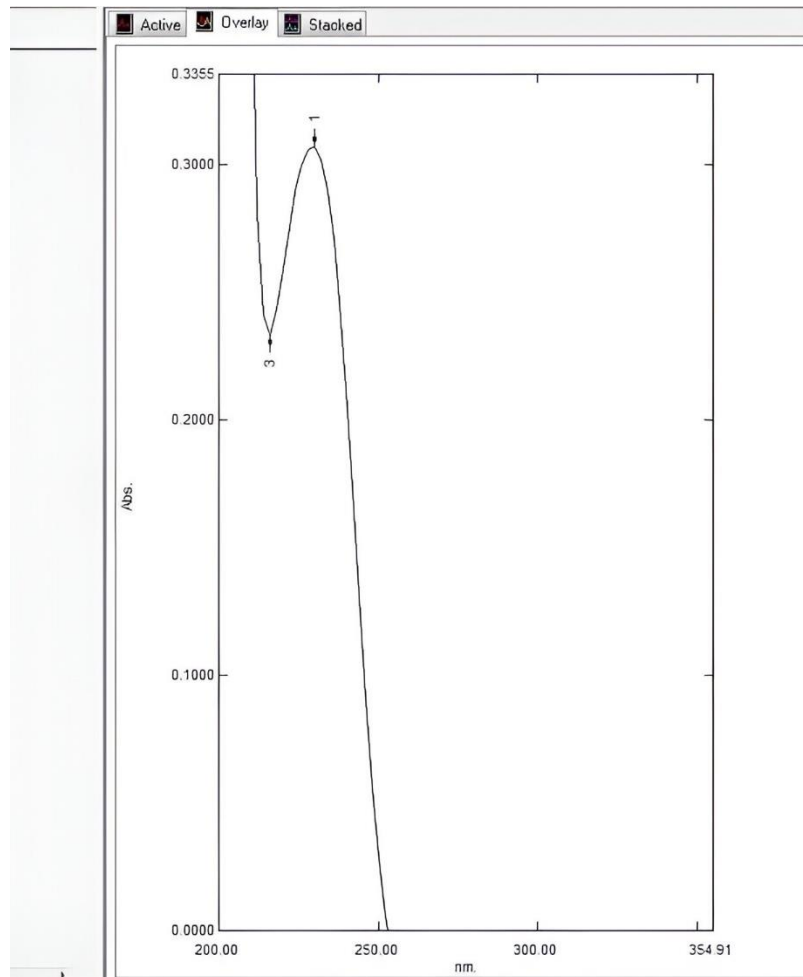
Nota. Procedimiento realizado por la investigadora.

7.5. Actividad 3 – Interpretación de espectros UV-Vis y Difractograma RX

La tercera actividad de la secuencia didáctica consistió en la lectura de la muestra previamente lavada, de la cual se tomó una pequeña muestra (1 mL) y se diluyó en 3 mL de agua destilada, para poder ser leída en el espectrofotómetro UV-Vis de la Universidad Pedagógica Nacional, desde una longitud de 190 a 1000 nm. Por temas de practicidad únicamente se analizó una muestra en el espectrofotómetro UV-Vis. En la Figura 24 se muestra el espectro UV-Vis obtenido.

Figura 24.

Espectro UV-Vis de una muestra de nanopartículas sintetizadas durante el desarrollo de esta investigación.

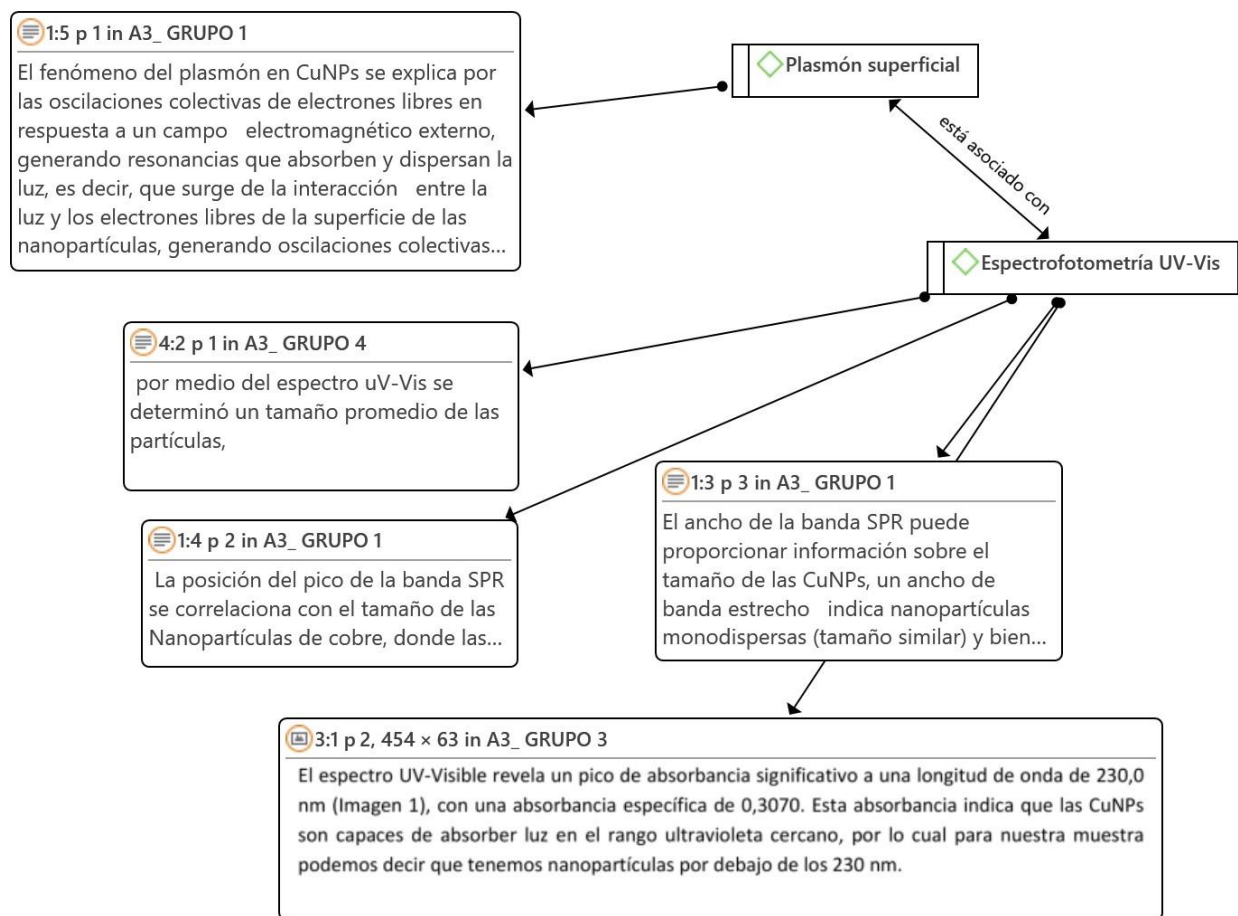


Nota. Este espectro fue obtenido de la lectura de la muestra de nanopartículas sintetizadas por el Grupo 2.

A continuación, en la Figura 25 se muestran algunas de las interpretaciones realizadas por los participantes sobre el espectro UV-Vis obtenido.

Figura 25.

Red semántica de las interpretaciones realizadas por los participantes sobre el espectro UV-Vis.



Nota. Obtenida con Atlas.ti a partir del análisis de los textos interpretativos de los participantes.

Con respecto al análisis del espectro UV-Vis, se encontró que el grupo 2 no presenta información relevante sobre este, pues centraron su análisis en la síntesis de nanopartículas (proceso de la sesión anterior). Por lo que, en esta primera parte se toman las explicaciones realizadas por el Grupo 1 (G1), el Grupo 3 (G3) y el Grupo 4 (G4). En la Figura 36 se aprecia que únicamente el G4 hace referencia a que el fenómeno de estudio es el *plasmón superficial*, el cual definen como:

“Las oscilaciones colectivas de electrones libres en respuesta a un campo electromagnético externo, generando resonancias que absorben y dispersan la luz, es decir, que surge de la interacción entre la luz y los electrones libres de la superficie de las nanopartículas” (Grupo 1, 2024).

Además, mencionan que:

“Las propiedades del plasmón dependen del tamaño, la forma y el medio en el cual se dispersan las nanopartículas, por ende, cuando las nanopartículas son más pequeñas poseen plasmones de mayor energía, mientras que, “las más grandes poseen plasmones de menor energía”, a su vez, “si el ancho de banda es más estrecho indica que las nanopartículas poseen tamaños similares” (Grupo 1, 2024).

Al analizar los resultados del texto proporcionado por el G1, se evidencia que realizan una interpretación adecuada del espectro obtenido, realizan declaraciones de la naturaleza del fenómeno y recurren a la teoría para explicarlo, lo que es un indicativo del uso de modelos explicativos interpretativos (MEIr), además sus explicaciones son adecuadas desde el nivel eléctrico y la dimensión energética, puesto que mencionan cómo la interacción electrónica con la radiación influye en los resultados obtenidos. Sin embargo, no realizan predicciones en torno a qué podría ocurrir al cambiar el medio en el cual se dispersan las nanopartículas, al aumentar la concentración de precursores o cambiar variables como la temperatura, es decir, que en cuanto a la capacidad predictiva (MEP) se evidencia un nivel de profundidad más bajo.

El Grupo 4 (G4) realiza la siguiente afirmación: *“por medio del espectro UV-Vis se determinó un tamaño promedio de las partículas”*, lo cual es inconsistente, porque si bien, la interpretación de la Resonancia del Plasmón Superficial (SPR) que es el fenómeno que puede estudiar al realizar una lectura en UV-Vis, puede dar indicios de algunas características de las nanopartículas, es necesario utilizar otro tipo de técnicas como la Difracción de Rayos X para poder obtener información más detallada sobre el tamaño o la forma de los cristales. El G4 no realiza análisis sobre la información que brinda el pico de máxima longitud, ni el ancho de banda, los cuales son fundamentales en la interpretación de cómo podrían ser las nanopartículas estudiadas, por lo que no se evidencia de forma consistente un nivel de profundidad en sus explicaciones desde el nivel eléctrico y la dimensión energética.

Por otra parte, el Grupo 3 (G3) incluye la información proporcionada por el equipo de lectura donde *“la máxima absorbancia es de 230 nm a una longitud de onda de 230 nm, lo cual indica que las nanopartículas presentes podrían llegar a tener un tamaño menor a los 230 nm”*, ahora, si bien, es cierto que la longitud de onda de máxima absorbancia, es indicativo para establecer de forma cualitativa el posible tamaño de las partículas, es importante recalcar que para que una partícula sea considerada una nanopartícula debe presentar un diámetro de entre 1 a 100 nm, es decir, todas sus dimensiones se deben encontrar en esta escala, por lo que, la afirmación realizada por el grupo sería más un indicativo de la presencia de otro tipo de nanomateriales. En cuanto a las explicaciones realizadas por el G3, se encuentra que, si bien logran realizar la lectura

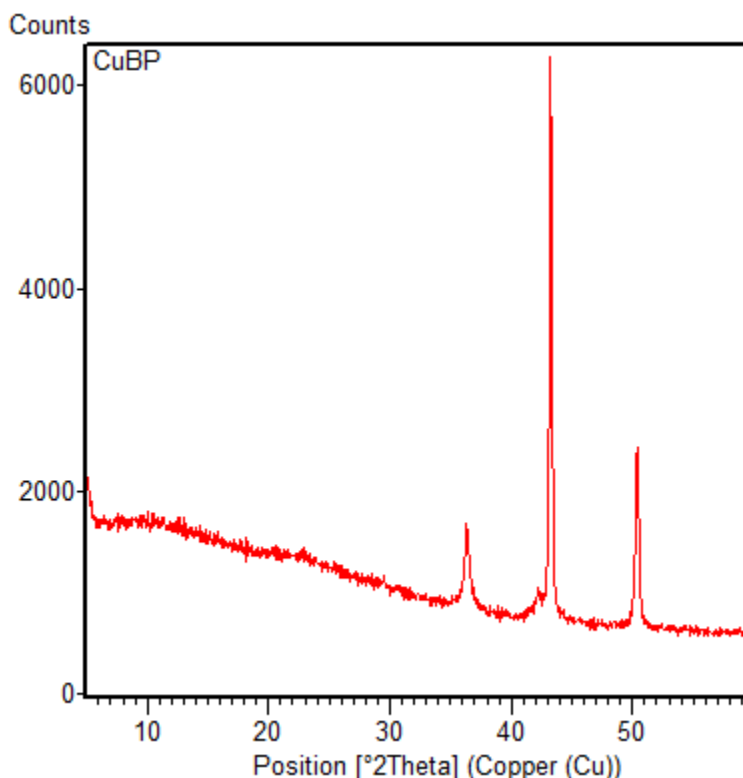
del espectro, no ahondan en explicar por qué y cómo ocurre dicho fenómeno, ni realizan apreciaciones desde el nivel y la dimensión de la estructura de la Química que corresponde, por lo que, se evidencia un nivel de profundidad del discurso bajo.

De acuerdo con Acevedo-León et al., (2023) es importante resaltar que la resonancia del plasmón de superficie se puede ver afectada por factores como el tamaño y la forma de las nanopartículas, además del medio de dispersión utilizado para la lectura, por lo que, si bien existen intervalos de valores de máximo absorbancia registrados en la literatura para cada especie, se pueden presentar corrimientos, lo que permite explicar la diferencia entre datos experimentales y teóricos.

Otra de las técnicas que se utilizó para comprender cómo se pueden caracterizar las nanopartículas de cobre fue la Difracción de Rayos X. Teniendo en cuenta que, la Universidad Pedagógica Nacional no contaba con el equipo necesario esta prueba se realizó en la Universidad Nacional de Colombia. Para esto se utilizó una muestra de nanopartículas de cobre obtenida siguiendo los mismos procedimientos de síntesis (controlando la temperatura, la agitación y el goteo al mismo tiempo), lavado y secados descritos en el apartado anterior, pero realizados por la investigadora en la fase de planeación, con la finalidad de utilizar el difractograma a tiempo para comprender cómo realizar una interpretación adecuada. Por ende, el difractograma que se muestra en la Figura 26 no indica información de las nanopartículas obtenidas por los participantes, pero es representativo de una muestra obtenida con anterioridad, siguiendo el mismo protocolo.

Figura 26.

Difractograma RX de una muestra de nanopartículas sintetizada por la investigadora durante la fase de planeación de esta investigación.

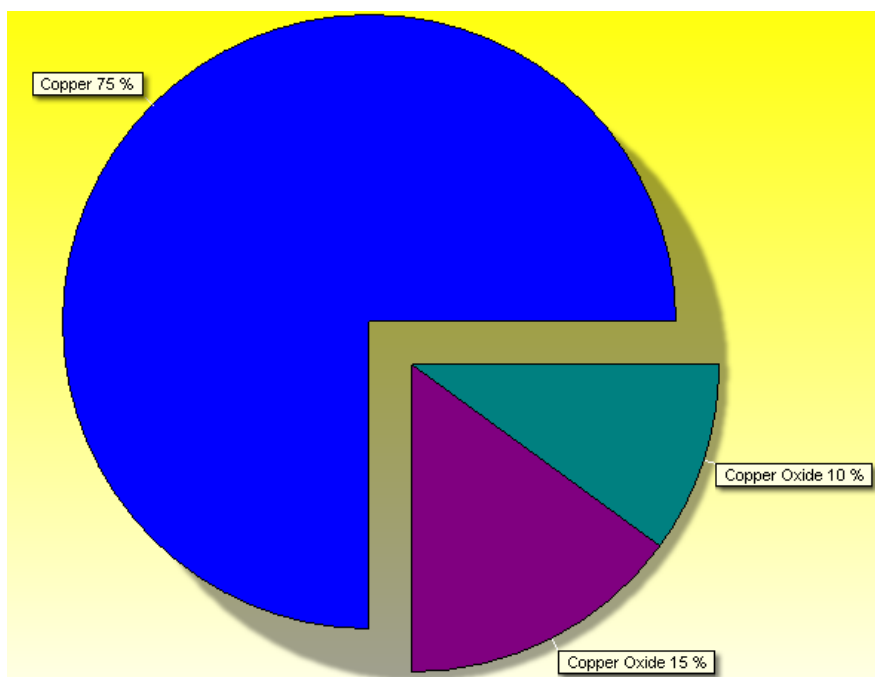


Nota. Este difractograma fue obtenido utilizando el equipo de Difracción de Rayos X de la Universidad Nacional de Colombia. Representa una muestra de nanopartículas sintetizada por la investigadora.

El difractograma permite conocer la estructura cristalina y el tamaño del cristal de una muestra determinada, por lo tanto, representa una herramienta valiosa para la caracterización de las nanopartículas metálicas. Con el fin de poder realizar un análisis adecuado se utilizó el software X'pert HighScore Plus, en el cual se debe realizar un tratamiento al difractograma para eliminar el ruido de fondo y poder realizar una comparación de los picos del difractograma obtenido experimentalmente con los difractogramas teóricos que se encuentran en la base de datos del programa, lo que permite reconocer qué especies se encuentran presentes en la muestra analizada. Este proceso fue realizado para explicarle a los participantes cómo realizar el proceso paso por paso. En la Figura 27 se muestra el resultado obtenido con el software sobre las especies de cobre presentes en la muestra analizada.

Figura 27.

Resultado obtenido por el software X'pert HighScore Plus para el análisis de la muestra de nanopartículas analizada por Difracción de Rayos X.

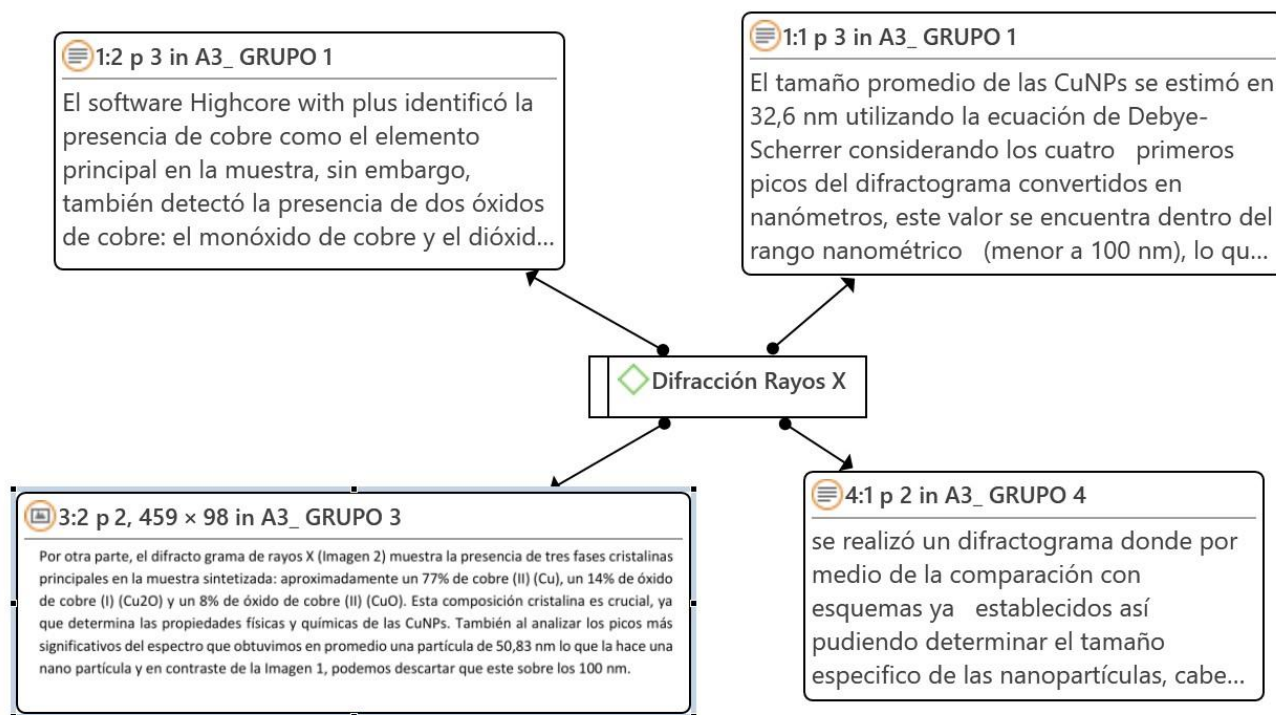


Nota. Este diagrama representa el porcentaje de cada una de las especies de cobre presente en la muestra analizada.

De acuerdo con el diagrama de la Figura 27, se puede concluir que el 75 % hace referencia a cristales de cobre puro, y el restante se divide en los dos óxidos, es decir, un 10% representa al CuO (óxido de cobre(II)), mientras que, el 15% representa a los cristales de Cu₂O (óxido de cobre (I)) presentes en la totalidad de la muestra. Esto representa unos resultados muy buenos en cuanto al proceso desarrollado, teniendo en cuenta que obtener nanopartículas de cobre puro es complejo, puesto que, al exponer estas nanopartículas al ambiente sufren un proceso de oxidación. En la Figura 28 se incluyen los análisis realizados por los diferentes grupos de trabajo al seguir el procedimiento indicado en la actividad.

Figura 28.

Red semántica de las interpretaciones realizadas por los participantes sobre el difractograma.



Nota. Obtenida con Atlas.ti a partir del análisis de los textos interpretativos de los participantes.

Cabe aclarar que el proceso fue realizado por cada grupo siguiendo de forma sincrónica la explicación sobre cómo utilizar el software, sin embargo, el hecho de utilizar una mayor o menor cantidad de picos para el análisis, además, que para pretratamiento del difractograma se debe seguir todos los parámetros para eliminar el ruido adecuadamente, pues esto puede influir en que varíe el tamaño promedio del cristal o los porcentajes de las especies identificadas. En el diagrama de la Figura 28, se muestra que el Grupo 3 encuentra un tamaño promedio de 50,83 nm de los cristales, mientras que, el Grupo 1, menciona un tamaño promedio de 32,6 nm; lo que puede explicarse en la forma cómo realizaron el pretratamiento y la cantidad de picos que seleccionaron para aplicar la Ecuación de Scherrer, la cual puede resolverse en el mismo software para mayor practicidad.

En cuanto a la interpretación de los resultados, se evidencia que ningún grupo realiza explicaciones desde el nivel eléctrico y la dimensión energética del discurso, aunque se haya realizado la explicación de cómo funciona la técnica utilizada y qué significan cada una de las señales que se obtienen. Tanto el Grupo 1, como el Grupo 3, manejan explicaciones desde lo molar, atendiendo únicamente a lo que perciben del diagrama de torta y al resultado en cuanto al tamaño del cristal obtenido por el software. Por otra parte, el Grupo 2 no realiza una

interpretación del difractograma y el Grupo 4 únicamente menciona la utilidad de la técnica para determinar el tamaño del cristal. En general, se evidencia que cuanto se utiliza el modelo explicativo interpretativo (MEIr) o cualquier otro, el nivel de profundidad en el manejo del discurso disminuye si la explicación requerida debe centrarse desde un nivel conceptual de mayor complejidad como el nivel eléctrico. Para la puntuación de esta actividad se diseñó la rúbrica de evaluación que se muestra en la Tabla 21, la cual incluye el ejemplo de valoración obtenida por el Grupo 1.

Tabla 21.

Rúbrica de evaluación de la actividad 3 para el grupo 1.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN PARA LA SESIÓN 3						
ACTIVIDAD		Texto interpretativo sobre espectros UV-Vis y DRX.				
ENFOQUE		Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr) y Predictivo (MEP)				
PREGUNTA GUÍA DEL MEIr		¿De qué se compone el fenómeno?				
PREGUNTA GUÍA DEL MEP		¿Cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones específicas?				
CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Interpretación	Realiza descripciones coherentes y pertinentes que sustentan sus resultados.				X	
	Las descripciones presentadas permiten comprender el procedimiento realizado y el por qué utilizar dicha técnica.			X		
	Recurrir a la teoría para explicar sus resultados de forma acertada y coherente.			X		
	Establece relaciones entre las características y propiedades de las nanopartículas desde los espectros obtenidos.				X	
Predicción	Predice características y propiedades de las nanopartículas desde la interpretación de los espectros obtenidos.			X		
	Compara los resultados de su metodología con		X			

otras, para establecer
diferencias significativas.

Nota. Elaboración propia a partir del enfoque de cada una de las sesiones.

Teniendo en cuenta que la rúbrica presentada en la Tabla 21, hace referencia a la valoración del Grupo 1, se establece que obtienen una puntuación general de 19 puntos (de 24 puntos posibles). Para los demás grupos se utilizó la misma rúbrica mostrada en la Tabla 21 para determinar la calificación de la actividad, y además se utilizó la rúbrica para establecer el nivel de profundidad de las explicaciones que se ha ido utilizando en las actividades anteriores. Los resultados de la categorización de modelos explicativos utilizados, el nivel de profundidad y la puntuación de la actividad se condensan en la Tabla 22 que se muestra a continuación:

Tabla 22.

Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 3.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD 3			
Grupo (G)	Modelo(s) explicativo(s)	Nivel de profundidad	Puntuación obtenida en la actividad
G1	Interpretativo (MEIr)	3	19 puntos
	Predictivo (MEP)	2	
G2	Descriptivo (MED)	2	8 puntos
G3	Interpretativo (MEIr)	3	17 puntos
G4	Descriptivo (MED)	2	8 puntos

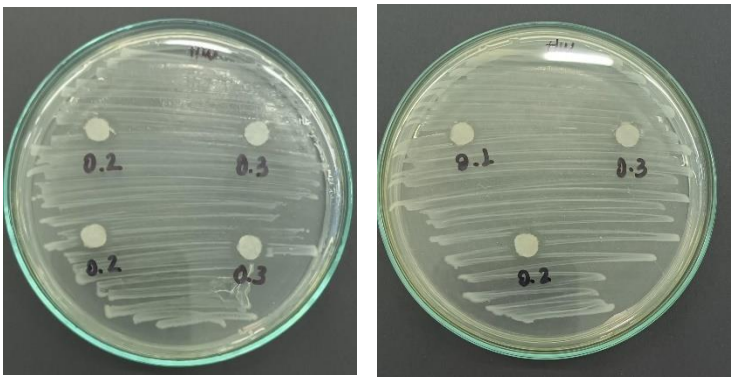
Nota. Elaboración propia a partir del análisis realizado en la actividad 3.

7.6. Actividad 4 – Mecanismos de acción de antibiosis de las nanopartículas

La cuarta actividad de la secuencia didáctica consistió en la explicación de los mecanismos de acción de las nanopartículas contra las bacterias, además de dos pruebas utilizadas para comprobar la efectividad de las nanopartículas en la antibiosis, estas fueron la técnica de difusión en agar Kirby-Bauer y la prueba de dilución en caldo. Es importante mencionar que si bien, estos procesos no fueron desarrollados con los participantes debido a limitaciones de tiempo y de laboratorios de microbiología, sí fue posible realizar un trabajo experimental en los laboratorios de microbiología de la Universidad ECCI, con una de las muestras de nanopartículas sintetizadas por la investigadora. En la Figura 29 se muestra a modo general el procedimiento realizado para llevar a cabo la prueba de antibiosis y los resultados que se obtuvieron.

Figura 29.

Procedimiento y resultados de la prueba de difusión en disco de Kirby-Bauer para establecer la actividad antimicrobiana de una muestra de nanopartículas de cobre.

Nanopartículas soportadas en el filtro hidrolizado 	Para poder realizar la prueba de antibiosis en agar, es importante que las nanopartículas sean soportadas en algún filtro o material que sea previamente hidrolizado (puede ser con hidróxido de sodio) y secado. En la imagen de la izquierda se muestra el filtro en el cual se soportaron las nanopartículas sintetizadas. El proceso de hidrólisis es importante, pues de este depende qué tanto se soportan las nanopartículas, por lo que, es importante controlar la concentración del NaOH utilizado y el tiempo durante el cual se dejaron los filtros en la solución de NaOH.
Prueba de control 	Los resultados obtenidos fueron comparados con un agar de control, en el cual se utilizó un papel filtro que no estuviese impregnado con ninguna sustancia. En la prueba control se evidenció el crecimiento total de la bacteria <i>Escherichia Coli</i>, incluso alrededor del filtro, mientras que, en los cultivos donde se utilizó el filtro impregnado con las nanopartículas de cobre se encontró un halo de inhibición del crecimiento bacteriano alrededor del filtro con nanopartículas.
Resultados 	Los halos de inhibición encontrados fueron de 0,1; 0,2 y 0,3 milímetros, lo que indica resultados satisfactorios.

Nota. La prueba de susceptibilidad fue realizada en la Universidad ECCI.

Con las temáticas abordadas en esta sesión los participantes debían diseñar un juego o material didáctico para explicar al menos uno de los mecanismos que pueden llegar a utilizar las nanopartículas para combatir a las bacterias. Este material fue evaluado mediante una exposición siguiendo los parámetros de la rúbrica de evaluación que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23.

Rúbrica de evaluación para la actividad 4.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN PARA LA SESIÓN 4						
ACTIVIDAD	Juego o material para el abordaje de un mecanismo de acción de las nanopartículas					
ENFOQUE	Nivel molecular – Dimensión energética. Modelo Explicativo Causal (MEC) e Intencional (MEIc)					
PREGUNTA GUÍA DEL MEC	¿Por qué el fenómeno se comporta como lo hace?					
PREGUNTA GUÍA DEL MEIc	¿Cuál es el propósito por explicar un fenómeno?					
CATEGORÍA	ENUNCIADO	ESCALA DE VALORACIÓN				OBSERVACIÓN
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Análisis	Realiza descripciones coherentes y pertinentes que sustentadas en la relación causa-efecto del mecanismo de acción					
	Incluye explicaciones desde el propósito que se aborda y la importancia del mecanismo de acción seleccionado.					
	Describe los alcances y limitaciones del mecanismo de acción y cómo estos contribuyen al análisis de la actividad antibacteriana de las nanopartículas.					
	Establece conclusiones pertinentes y coherentes con la teoría.					
Diseño	El diseño del material es pertinente y adecuado desde sus explicaciones e ilustraciones.					
	Diseña ilustraciones que le permiten dar sustento y se correlacionan adecuadamente con sus					

análisis, además de establecer relaciones de causa y efecto.

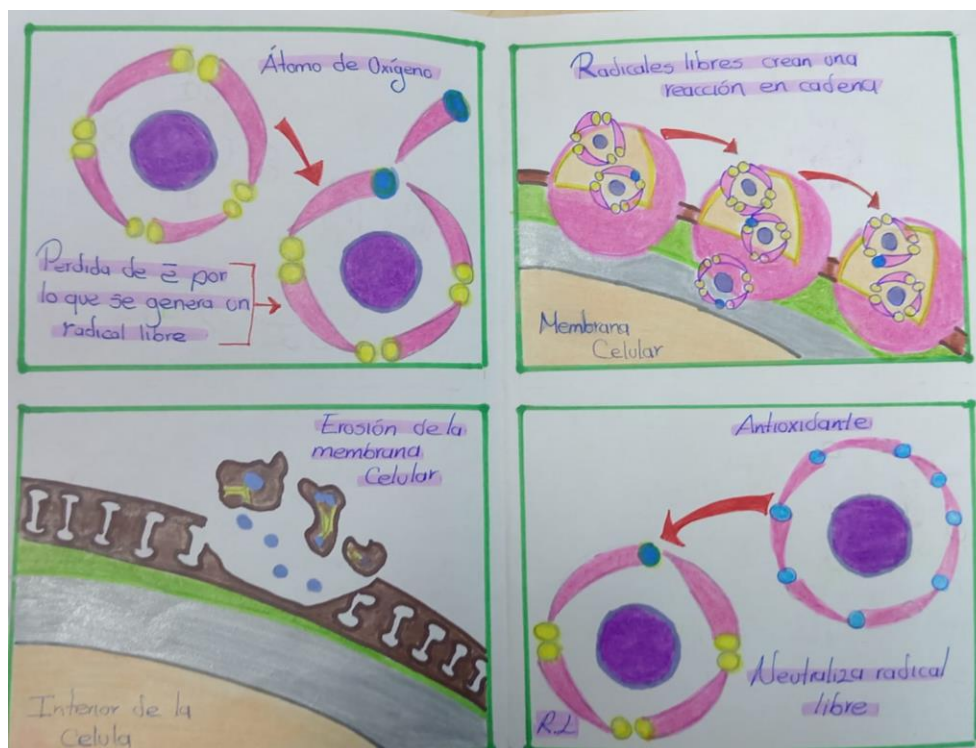
Establece un orden, redacción y diseño pertinente, el cual permite comprender la importancia de la técnica usada.

Nota. Elaborada para el análisis del discurso manejado por los participantes en la exposición y el material didáctico desarrollado.

En la rúbrica de evaluación (Tabla 23) se muestran las dos categorías establecidas para la evaluación de la actividad, con un total de 7 enunciados, los cuales pueden ser valorados en una escala de 1 a 4, donde 1 es bajo, 2 es insuficiente, 3 es aceptable y 4 es superior. Al realizar la sumatoria de la valoración obtenida en cada enunciado la puntuación máxima que puede obtenerse es de 28 puntos, mientras que la valoración mínima es de 7 puntos. Esta rúbrica se utilizó para evaluar los resultados de cada uno de los grupos. En la Figura 30 se muestra el material desarrollado por el Grupo 1.

Figura 30.

Material desarrollado por el Grupo 1 en la actividad 4.



Nota. Tomada de las evidencias de trabajo del Grupo 1.

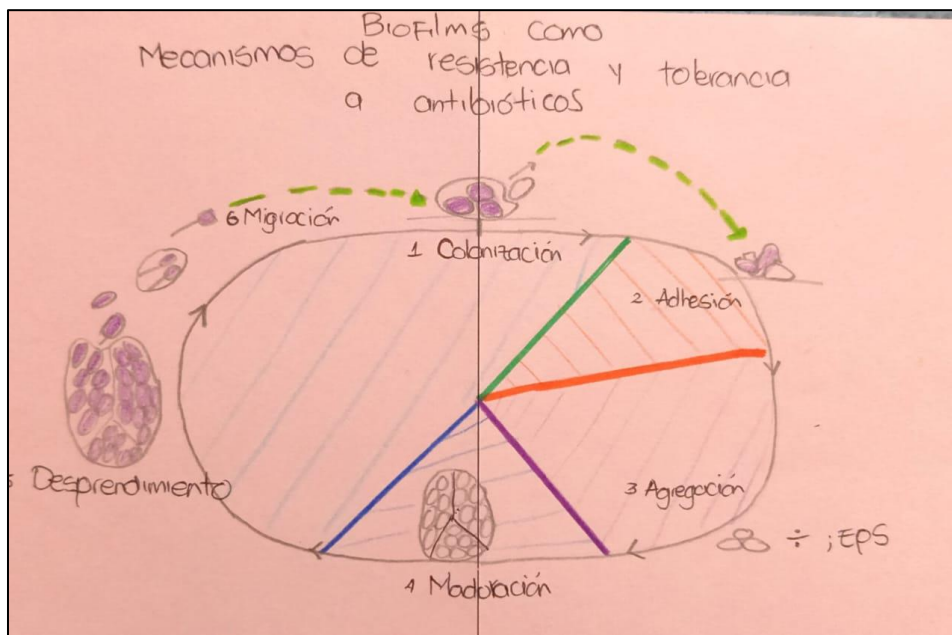
El Grupo 1 (G1) eligió el estrés oxidativo como mecanismo de acción (Figura 30). En cuanto al diseño del material didáctico este es claro y pertinente para abordar la explicación, las ilustraciones realizadas dan sustento y se correlacionan con los análisis expuestos, además permiten comprender la relación causa-efecto que puede llegar a desencadenar el estrés oxidativo y por consiguiente la muerte de la célula bacteriana. En cuanto al análisis, el G1, identificó que las nanopartículas de cobre y sus óxidos eran capaces de inducir el estrés oxidativo debido a la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales pueden conocerse como radicales libres que desencadena la ruptura de la membrana celular. Se considera que realizan explicaciones coherentes y pertinentes, abordando la importancia de este mecanismo para combatir bacterias, Sin embargo, no describe los alcances o las limitaciones del mecanismo utilizado para describir el estrés oxidativo. Por lo que la valoración final es de 24 puntos.

Por otra parte, se evidencia que los participantes del Grupo 1, hacen uso de un modelo explicativo causal (MEC) para explicar el comportamiento del fenómeno estudiado a través de un mecanismo causal, y en menor medida de un modelo explicativo interpretativo (MEIr), pues no ahondan demasiado en la importancia que tiene el reconocer estos mecanismos de acción. Ahora bien, las explicaciones realizadas no se centran en reconocer a una escala molecular cómo ocurren dichas interacciones, por lo que, se evidenció que, desde un nivel conceptual molecular, el nivel de profundidad del discurso es insuficiente para describir cómo ocurre el fenómeno del estrés oxidativo.

En la Figura 31 se muestra el material desarrollado por el Grupo 2, quiénes eligieron explicar un mecanismo de las bacterias conocido como la formación de biofilms, el cual es prevenido por la acción de las nanopartículas metálicas.

Figura 31.

Material desarrollado por el Grupo 2 en la actividad 4.



Nota. Tomada de las evidencias de trabajo del Grupo 2.

Los participantes del Grupo 2 (G2) indagaron en la teoría y las explicaciones realizadas para describir cómo ocurre la formación de biofilms, presentando un mecanismo en el que existe una interacción inicial de las bacterias con una superficie, en la cual empiezan a formar microcolonias, lo que representa una estrategia de adaptación para aumentar la supervivencia de estos organismos. El G2 describe de forma coherente el proceso de formación de biofilms desde la generalidad, sin embargo, desde un nivel molecular del discurso no establecen relaciones en cuanto a las interacciones químicas que utilizan las bacterias para adherirse a las superficies, ni cómo se logrando mantener unidas por medio de la producción de polisacáridos, proteínas y lípidos que les sirven además de protección contra el medio. Estos mecanismos generan que las bacterias sean resistentes a los antibióticos comunes.

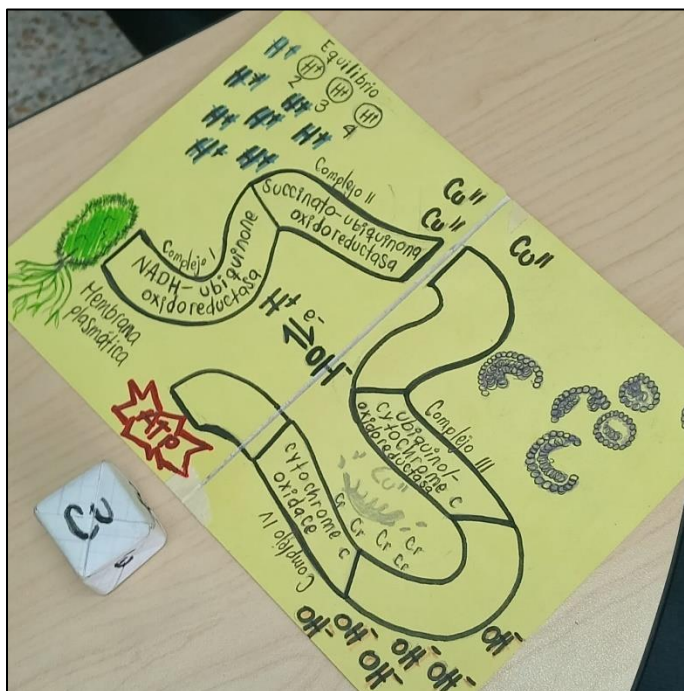
Adicionalmente, en la exposición el G2, establece relaciones de causa-efecto, en cuanto al hecho de que las nanopartículas metálicas son capaces de destruir la capa protectora que desarrollan las bacterias al formar el biofilms, lo que también los lleva a comprender y explicar cuál es la importancia de las nanopartículas en este contexto. El G2, no describe de forma detallada los alcances o limitaciones que pueden existir en cuanto a la acción de las nanopartículas contra los biofilms, ni recurre a la teoría para explicar el mecanismo molecular que ocurre. Por otra parte, el diseño del material es pertinente para sustentar la explicación, pero no expresa la importancia

de reconocer los diferentes mecanismos de acción de las nanopartículas, por lo que, puntaje general para el G2 es de 20 puntos.

En la Figura 32 se muestra el material desarrollado por el Grupo 3, quienes describieron cómo las nanopartículas son capaces de interrumpir el transporte de electrones en la membrana plasmática de las bacterias.

Figura 32.

Material desarrollado por el Grupo 3 en la actividad 4.



Nota. Tomada de las evidencias de trabajo del Grupo 3.

El Grupo 3 (G3) desarrolló un juego similar a “la escalerita” por medio del cual explicaron qué es la cadena de transporte electrónico y cómo las nanopartículas metálicas pueden interferir o interrumpir dicho flujo, comprometiendo el flujo de energía y causando daño celular. Si bien, el G3 presentó un material didáctico valioso, es importante no perder de vista cómo ocurre el proceso desde un nivel molecular. Al momento de realizar la dinámica, el G3 no hace énfasis en cuál complejo es el que atacan las nanopartículas y no relacionan directamente otros fenómenos como la producción de especies reactivas de oxígeno o la desestabilización de la membrana plasmática.

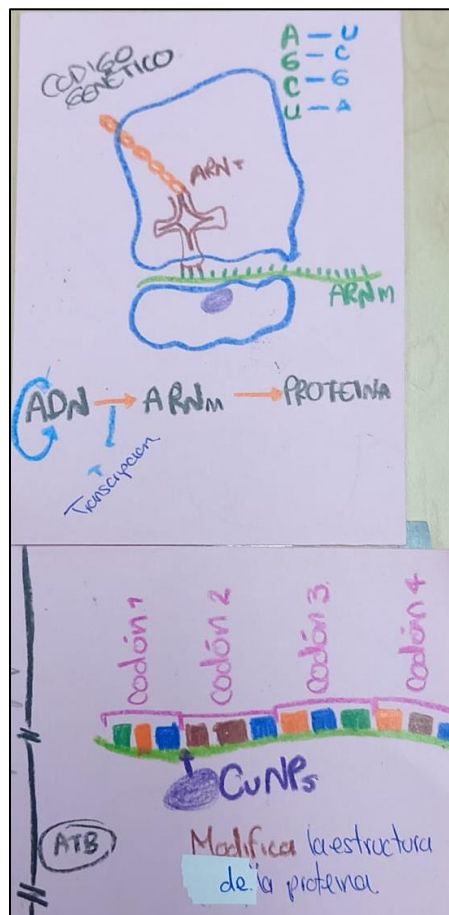
En general, se evidenció el uso de un modelo descriptivo intencional (MEIc), al aclarar la importancia de las nanopartículas en este proceso, sin embargo, establecen relaciones de

causalidad a nivel molecular, sus descripciones fueron principalmente hechas desde un nivel molar del discurso. Por otra parte, el diseño del material es pertinente y adecuado para sustentar la explicación y comprender cómo funciona el mecanismo de acción, además, describieron los alcances del mecanismo de las nanopartículas, por lo que, la valoración general siguiendo la rúbrica mostrada anteriormente es de 23 puntos.

En la Figura 33 se muestra el material desarrollado por el Grupo 4, quienes describieron el mecanismo de inhibición de la síntesis de proteínas, generado por las nanopartículas metálicas al atacar la subunidad 30S de los ribosomas presentes en las bacterias.

Figura 33.

Material desarrollado por el Grupo 4 en la actividad 4.



Nota. Tomada de las evidencias de trabajo del Grupo 4.

En esta actividad, el Grupo 4 (G4), describió que las nanopartículas metálicas se unen al ARNm modificando la estructura de la proteína que la célula bacteriana busca sintetizar, es decir que, las nanopartículas son capaces de alterar la conformación del ribosoma, impidiendo que el

ARNm se una a la subunidad 30S para alinear el codón de inicio y facilitar la lectura del código genético. La explicación presentada por el G4 se encuentra sustentada por el material didáctico que diseñaron, además realizaron descripciones coherentes desde la relación causa-efecto entre la nanopartícula y la inhibición de la síntesis o modificación de proteínas, lo que finalmente desencadenaría en un funcionamiento inadecuado de la célula, puesto que, se afecta la replicación y reparación celular, al generar también estrés celular. Por otra parte, el grupo no profundizó en la importancia de este mecanismo para combatir bacterias resistentes a los antibióticos y la explicación realizada no es totalmente adecuada desde un nivel molecular del discurso, lo que derivó en una valoración de 20 puntos.

A modo de síntesis en la Tabla 24, se recopilan los resultados de la categorización de los modelos explicativos, el nivel de profundidad y el puntaje obtenido en la actividad 4.

Tabla 24.

Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 4.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD 4			
Grupo (G)	Modelo(s) explicativo(s)	Nivel de profundidad	Puntuación obtenida en la actividad
G1	Causal (MEC)	3	24 puntos
	Intencional (MEIc)	3	
G2	Causal (MEC)	2	20 puntos
	Intencional (MEIc)	2	
G3	Causal (MEC)	2	23 puntos
	Intencional (MEIc)	3	
G4	Causal (MEC)	2	20 puntos
	Intencional (MEIc)	2	

Nota. Elaboración propia a partir del análisis realizado en la actividad 4.

7.7. Actividad 5 – Infografía

La evaluación de la actividad fue realizada por todos los participantes del taller, siguiendo una rúbrica de evaluación con 5 indicadores de desempeño, cada uno con una escala de valoración de 1 a 4, donde 1 es necesita mejorar; 2 es aceptable, 3 es bueno y 4 es excelente. La rúbrica de evaluación se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25.

Rúbrica de evaluación de las intervenciones finales de cada uno de los grupos.

EVALUACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO DEL GRUPO __					
INDICADOR	1	2	3	4	Observaciones
CONTENIDO					
CLARIDAD Y PRESENTACIÓN					
CREATIVIDAD					
PARTICIPACIÓN Y COLABORACIÓN					
RELEVANCIA Y APLICABILIDAD					

Nota. Rúbrica diseñada para el análisis conjunto de la actividad final.

El Grupo 1 (G1) se centró en la enseñanza de las propiedades físicas, ópticas, químicas y mecánicas de las nanopartículas en población universitaria. En la Figura 34 se evidencia un fragmento de la infografía desarrollada.

Figura 34.

Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 1.



Nota. Tomado de las evidencias de trabajo del Grupo 1.

En el fragmento expuesto en la Figura 34, se evidencia el uso de varios modelos explicativos entre estos el descriptivo (MED), cuando mencionan las propiedades del fenómeno de estudio; el interpretativo (MEIr), pues recurren a la teoría para sustentar lo que mencionan; además, establecen relaciones de causa-efecto en cuanto a la afirmación de que las propiedades ópticas derivan de la resonancia del plasmón superficial. En el discurso manejado se evidencia un mayor nivel de profundidad en sus explicaciones, las cuales fueron centradas desde un nivel molar y molecular, presentando aún dificultades para realizar explicaciones desde el nivel eléctrico. No se evidencia de forma clara a quien se dirige el material diseñado, sin embargo, hacen referencia al abordaje interdisciplinar.

Con respecto a la coevaluación realizada por los demás grupos, se encuentra una valoración “excelente” en cuanto a la relevancia y aplicabilidad del material diseñado, y en cuanto a los

parámetros como contenido, claridad, creatividad y participación/ colaboración la valoración suele ser de “bueno”. Dentro de las apreciaciones realizadas por algunos compañeros, se resaltan algunas a continuación:

“La información fue organizada de forma clara, fueron creativas, hubo espacio para la conversación sobre la temática y se mostró como incluir el tema en investigación” (Participante 5, 2024)

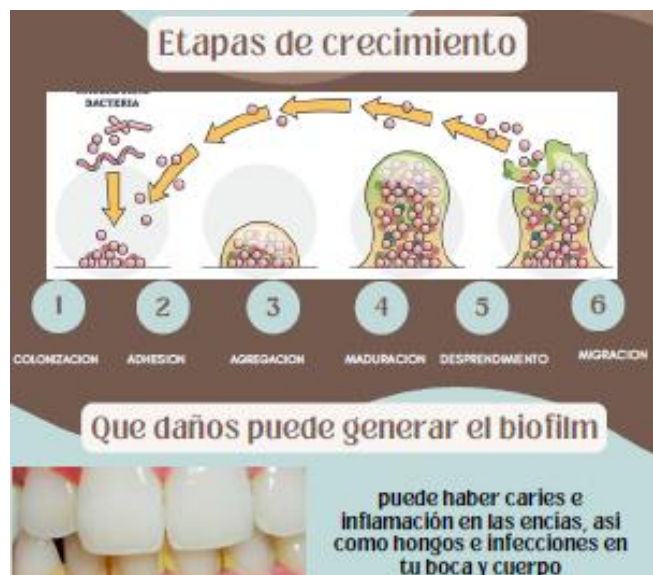
“Incorporaron gráficos informativos que captaron la atención. El trabajo en equipo fue evidente con una distribución de roles adecuada. Presentan un material relevante para entender la importancia” (Participante 6, 2024)

Por otra parte, el Grupo 2 (G2) se enfoca en los mecanismos de prevención contra la adquisición de enfermedades que pueden ser causadas por el biofilms de bacterias, orientado a estudiantes de educación primaria. En la Figura 35 se muestra un fragmento de la infografía realizada por este grupo.

Figura 35.

Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 2.





Nota. Tomado de las evidencias de trabajo del Grupo 2.

El G2 presenta de forma adecuada la información, teniendo en cuenta la población en la cual se enfocó el material desarrollado, además se evidencia una gran adaptación del nivel conceptual utilizada y el interés por diseñar estrategias que permitan acercar a los niños a problemáticas actuales como las enfermedades que pueden estar asociadas a microorganismos. Adicionalmente, se destaca el uso de modelos explicativos descriptivos (MED), en los cuales buscan aclarar significados y reconocer las características, además de modelos explicativos intencionales (MEIc), al mencionar la importancia de estudiar dicho fenómeno. El G2 se enmarca en explicaciones propias del nivel molar y la composición/estructura y en menor medida intentan realizar explicaciones desde un nivel molecular, teniendo en cuenta que la profundidad del discurso depende también de la población a la cual se dirige el conocimiento o las explicaciones realizadas.

Con respecto a la coevaluación realizada por los otros grupos, se encontraron valoraciones de “excelente” y “bueno” en todas las categorías evaluativas, con observaciones muy positivas, entre las cuales se destacan algunas:

“El grupo 2 demostró gran creatividad a abordar el tema de los biofilms desde una perspectiva accesible para estudiantes de grado cuarto. Es inspirador en cuanto a las posibilidades de integrar la nanotecnología en la educación primaria” (Participante 1, 2024).

“La aplicabilidad del material didáctico es buena, sin embargo, puede perderse un poco el enfoque cuando la explicación se torna general y no se asocia con la nanotecnología”
(Participante 7, 2024)

El enfoque seleccionado por el Grupo 3 (G3) es el de los nanomateriales, el cual plantean para una población de estudiantes de grado once, en aras de realizar un acercamiento a dichas temáticas. En la Figura 36 se muestra un fragmento del material desarrollado por el grupo.

Figura 36.

Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 3.



Nota. Tomado de las evidencias de trabajo del Grupo 3.

El G3 evidencia una buena construcción del discurso en torno a la temática seleccionada y los conceptos asociados, además, presentan la aplicabilidad de los nanomateriales en diferentes áreas y ejemplos cotidianos sobre donde pueden encontrarse. En el discurso utilizado se identifica el uso de modelos explicativos descriptivos (MED) e intencionales (MEIc), puesto que, realizar aclaraciones de los significados y abordan características del fenómeno, además de resaltar la importancia de este. En cuanto al nivel de profundidad del discurso se establecen

definiciones claras y coherentes desde un nivel conceptual molecular para explicar las diferencias entre los tipos de nanomateriales.

Con respecto a la coevaluación realizada por los demás grupos, las valoraciones obtenidas en todas las categorías se encuentran en “excelente” y “bueno”, dentro de las observaciones más destacables se mencionan algunas:

“Cuentan con creatividad en la presentación. Incluyen algunas partes de la investigación y el contenido es muy adecuado” (Participante 10, 2024).

“El material de divulgación abordó diversos temas innovadores, se evidenció un profundo conocimiento de las aplicaciones potenciales de estas tecnologías emergentes” (Participante 1, 2024).

El Grupo 4 (G4) se centró en abordar los usos antimicrobianos de las nanopartículas de cobre, como una forma de generar interés en una población de grado décimo. En la Figura 37 se muestra un fragmento del material realizado por el grupo.

Figura 37.

Fragmento de la infografía realizada por el Grupo 4.



Nota. Tomado de las evidencias de trabajo del Grupo 4.

El G4 realiza explicaciones coherentes, se evidencia creatividad en las exposiciones realizadas y un buen manejo del discurso especialmente desde un nivel molecular, utilizando modelos explicativos descriptivos (MED), causales (MEC) e intencionales (MEIc). Adicionalmente, ahondan en explicar otros métodos de síntesis de las nanopartículas, como por ejemplo el usar extracto de mora como agente reductor. En cuanto a las actividades anteriores se destaca una construcción del discurso con un nivel de profundidad bueno, lo que les permitió realizar explicaciones mucho más integrales.

Con respecto a la coevaluación, la valoración de todos los indicadores se centró en “bueno” y “excelente”. A continuación, se destacan algunas de las observaciones realizadas por otros grupos:

“El material es muy apropiado para la temática abordada, trataron temas de manera concisa y precisa, mencionando aplicaciones en la vida cotidiana” (Participante 5, 2024).

“Realizaron explicaciones detalladas de los mecanismos que subyacen al carácter antimicrobiano de las nanopartículas metálicas, utilizando estudios experimentales y teóricos” (Participante 6).

Finalmente, en la Tabla 26 se condensa la información sobre los modelos explicativos identificados, el nivel de profundidad y la puntuación obtenida teniendo en cuenta las valoraciones realizadas por todos los participantes

Tabla 26.

Categorización de los modelos explicativos y el nivel de profundidad de las explicaciones de la actividad 5.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD 5			
Grupo (G)	Modelo(s) explicativo(s)	Nivel de profundidad	Puntuación obtenida en la actividad
G1	Descriptivo (MED)	4	25
	Interpretativo (MEIr)	3	
G2	Descriptivo (MED)	3	27
	Intencional (MEIc)	4	
G3	Descriptivo (MED)	4	27
	Intencional (MEIc)	3	
G4	Descriptivo (MED)	4	26
	Causal (MEC)	4	
	Intencional (MEIc)	3	

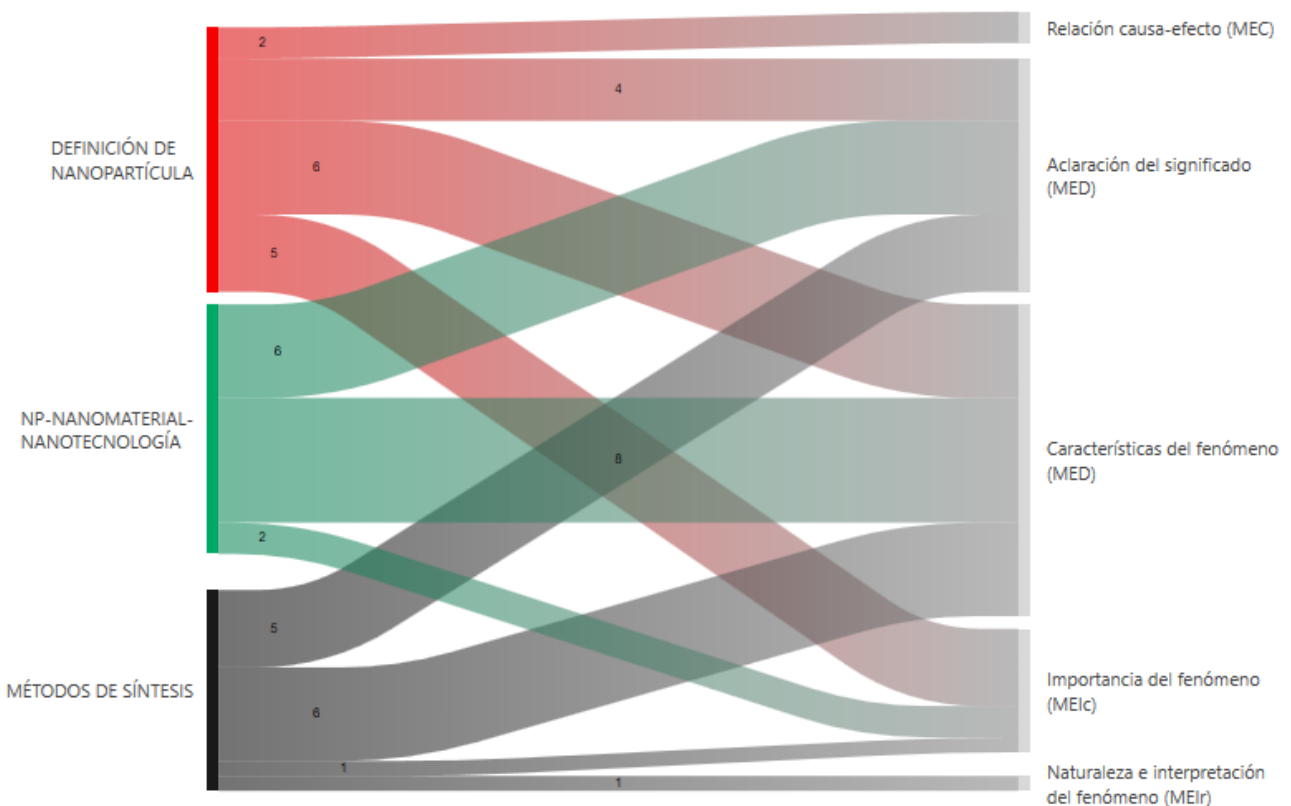
Nota. Elaboración propia a partir del análisis realizado en la actividad 5.

7.8. Prueba de salida

La prueba de salida aplicada estaba constituida por las mismas 7 preguntas de la prueba inicial, con la finalidad de realizar un análisis que permitiera contrastar los niveles de profundidad en los modelos explicativos antes y después de la aplicación de la secuencia. En cuanto al análisis de la categoría 1 se diseñó un diagrama de co-ocurrencia en el cual se entrelazan los códigos encontrados en cada una de las preguntas, este diagrama se muestra en la Figura 38.

Figura 38.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 1 de la prueba final.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

En la Figura 38 se puede apreciar que, el código de “ningún modelo explicativo” ya no aparece, puesto que, todos los participantes lograron establecer al menos una explicación razonable a cada una de las preguntas planteadas. En cuanto a la definición de nanopartícula se encontró que esta vez realizan afirmaciones desde una relación de causalidad (MEC), al menos en 2 afirmaciones y realizan una adecuada interpretación a partir de gráficos asociados con la síntesis

de nanopartículas en al menos una afirmación. Algunas de las citas relacionadas con la primera pregunta se destacan a continuación:

“debido a su tamaño extremadamente pequeño, las nanopartículas exhiben efectos cuánticos y una gran superficie en relación con su volumen, lo cual aumenta la reactividad química; Estas propiedades únicas incluyen la capacidad de absorber, dispersar y emitir luz de manera distinta a los materiales que son más grandes” (Participante 1, 2024)

“Partícula de tamaño pequeño de entre 1 y 100 nanómetros con propiedades e interacciones cuánticas y espectrofotométricas particulares según su tamaño, según su identidad química y la forma alotrópica en la que se encuentre pueden actuar física y químicamente de manera diferente a como lo haría su material de proveniencia o “común” (Participante 4, 2024).

“Estas partículas poseen propiedades físicas, químicas y ópticas únicas debido a su pequeño tamaño y alta relación superficie-volumen, lo que las hace especialmente adecuadas para diversas aplicaciones tecnológicas y biomédicas” (Participante 6, 2024)

En este caso, se aprecia que los participantes empiezan a destacar otras propiedades de las nanopartículas como la relación entre el área superficial y el volumen, y establecen relaciones causales entre este fenómeno y su reactividad, y como esta característica permite que posean aplicaciones en varios campos. Se evidencia una mejor construcción de las ideas plasmadas y mayor profundidad al explicar lo que es una nanopartícula no solo desde un nivel molar sino también desde un nivel molecular del discurso químico.

Con respecto a la comparación de los términos nanopartícula, nanomaterial y nanotecnología se encontraron modelos explicativos de tipo descriptivo (MED) e intencional (MEIc), entre las afirmaciones que permiten concluir eso se destacan las siguientes:

“Los nanomateriales deben tener al menos una dimensión en el rango de aproximadamente 1 a 100 nm y exhiben fenómenos dependientes de la dimensión, entre estos se encuentran las nanopartículas. La nanotecnología es un campo de conocimiento que abarca saberes y métodos en cuanto a el diseño, la síntesis, la caracterización, la manipulación y aplicación de nanomateriales,” (Participante 1, 2024).

“Una nanopartícula es una entidad física que tiene dimensiones en el rango de nanómetros. Los nanomateriales pueden ser simples o compuestos y suelen poseer propiedades únicas debido a su tamaño nanométrico, como alta resistencia,

conductividad eléctrica mejorada, y capacidad para funcionalizar superficies. La nanotecnología abarca un campo multidisciplinario que combina ciencia de materiales, física, química” (Participante 6, 2024).

“Nanopartícula es una partícula de propiedades químicas y físicas particulares, diferentes a la sustancia de origen, que refiere como partícula “enano”, que interacciona con la luz y mediante la espectroscopía se puede determinar su tamaño. Los nanomateriales poseen al menos una de sus dimensiones un tamaño entre 1 a 100 nanómetro y la nanotecnología es una ciencia del estudio y aplicación de las nanopartículas y nanomateriales. La unión de la ciencia y la técnica para el aprovechamiento de los fenómenos biológicos” (Participante 7, 2024).

Las explicaciones realizadas por los participantes responden a aclaraciones de significado y a características del fenómeno principalmente. Se evidencia una mayor profundidad en el abordaje y diferenciación de los conceptos, y se resalta que los participantes lograron reconocer que las propiedades de las nanopartículas de un elemento son totalmente diferentes al mismo elemento en una escala macroscópica, resaltando algunas como la funcionalización de superficies, una alta resistencia y mejor conductividad eléctrica.

Para la comprensión de los modelos explicativos de los participantes en torno a los métodos de síntesis de nanopartículas se encontraron algunas afirmaciones como:

“Un ejemplo de método químico es la reducción química, donde iones metálicos en una solución son reducidos a su forma metálica mediante un agente reductor lo que permite controlar el tamaño de las nanopartículas” (Participante 2, 2024).

“En estos métodos bottom up, los precursores químicos (como sales metálicas, compuestos orgánicos, etc.) se utilizan como materias primas a través de reacciones químicas controladas. En los métodos top down la reducción se hace mecánicamente” (Participante 6, 2024).

“El proceso físico será el top down debido a que un tipo de influencia externa se generaran cambios en la organización cristalina, rompiendo enlaces y empezando a generar estructuras menores a 100 nm dependiendo su estructura y geometría, por otra parte el botón up, se encargara de generar hileras microscópicas dependiendo la estructura y radio atómico, por lo tanto se empezaran a generar pequeñas aglomeraciones de algún

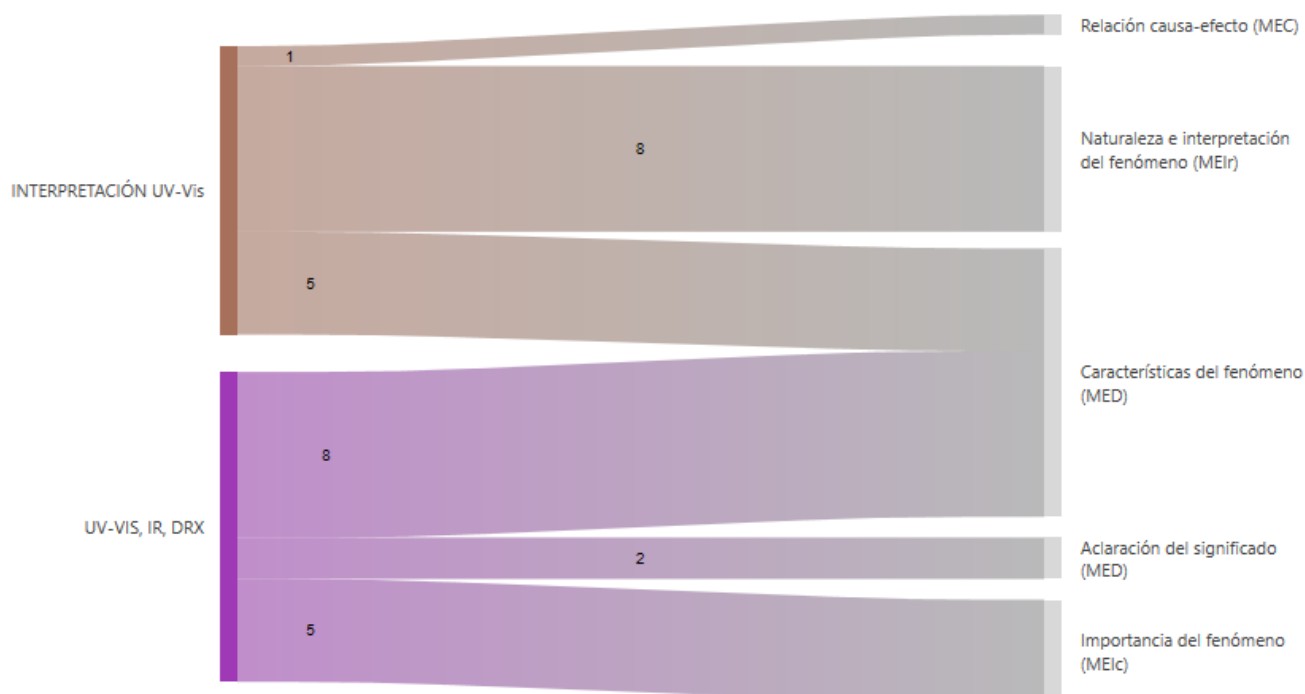
tipo de sustancia hasta llegar a generar sucesivamente clúster hasta un tamaño máximo de 100 nm” (Participante 9, 2024)

En cuanto a los métodos de síntesis se evidenciaron modelos explicativos descriptivos (MED) y en menor medida modelos explicativos intencionales (MEIc) e interpretativos (MEIr). Por ejemplo, el Participante 9, logró realizar una explicación detallada desde la aclaración del significado y las características que lo conforman, realizando una interpretación muy pertinente sobre la síntesis química de nanopartículas incluyendo el concepto de “clúster” que se usa para reconocer aglomeraciones de átomos con tamaño menores a las nanopartículas. Por otra parte, en la definición de la Participante 2, se aprecia que destacan de la importancia de la síntesis química que es el control del tamaño, lo que no puede lograrse por métodos físicos. Las explicaciones son adecuadas desde un nivel molar, sin embargo, se evidencia que a nivel molecular es necesario fortalecer el discurso.

En las preguntas pertenecientes a la categoría 2 se encontró que todas las afirmaciones podían ser categorizadas al menos en un modelo explicativo. En la Figura 39 se muestra el diagrama de co-ocurrencia diseñado para el análisis de las preguntas 4 y 5.

Figura 39.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 2 de la prueba final.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

Para el caso de la pregunta en la cual se buscaba establecer una definición sobre las técnicas de caracterización UV-Vis, IR y Difracción de rayos X (DRX) se encontraron principalmente modelos explicativos descriptivos (MED) e intencionales (MEIc), en los que los participantes buscaban comprender las propiedades del fenómeno y reconocer por qué es importante estudiarlo. A continuación, se destacan algunas citas de los participantes:

“la técnica de UV-Vis se basa en la interacción de la luz ultravioleta y visible con la materia, cuando la luz incide sobre una muestra, esta puede absorber, reflejar o transmitir la luz, la cantidad de luz absorbida depende de la longitud de onda de la luz y de las propiedades de la muestra. Mientras que en la técnica XRD emplea haces de rayos X para estudiar la estructura cristalina de la materia, cuando los rayos X inciden sobre un material cristalino, se dispersan en diferentes direcciones según la disposición regular de los átomos en la estructura cristalina” (Participante 1, 2024).

“En el caso de las nanopartículas, la espectrofotometría permite caracterizar las propiedades ópticas, información sobre el tamaño y la forma. La espectroscopía IR se utiliza para estudiar las vibraciones moleculares en los enlaces químicos. La DRX se utiliza para determinar la estructura cristalina, el tamaño del cristal y permite caracterizar la estabilidad de la nanopartícula” (Participante 6, 2024)

En cuanto a las respuestas expuestas se encontró que, si bien se evidencia una mayor profundidad en las explicaciones, estas no logran ser realizadas desde un nivel eléctrico específicamente, sin embargo, hacen referencia a la interacción que existe con la energía en forma de radiación, y también a la importancia y utilidad de cada técnica de análisis químico en la caracterización de nanopartículas.

En la pregunta relacionada con la interpretación de diferentes espectros UV-Vis se destacan las siguientes citas.

“en el protocolo 5 hay un pico de plasmón prominente, el espectro exhibe un pico de plasmón bien definido y con mayor intensidad en la región de longitud de onda visible, este pico fuerte indica que hay una presencia evidente de cobre en la muestra” (Participante 1, 2024).

“En el protocolo 1 se evidencia que no hay formación de nanopartículas de cobre, puesto que la longitud de onda está en el rango de 761 nm y sobrepasa el rango característico

para las nanopartículas de cobre. Normalmente, las nanopartículas de cobre presentan picos de absorbancia en el rango de 550-600 nm, lo que indica que el valor de 761 nm no corresponde a nanopartículas de cobre” (Participante 2, 2024).

“Los cambios podrían deberse al tipo de tratamiento que se dio, al tipo de solvente o muchos otros factores externos, por lo tanto, se generó un cambio en el pico de absorción, siendo así entra en juego la impolutes de la muestra (debido al solvente pudo generarse algún tipo de reacción débil o posible se oxido la muestra por el lavado); cabe otra probabilidad de que sea nanomaterial” (Participante 9, 2024)

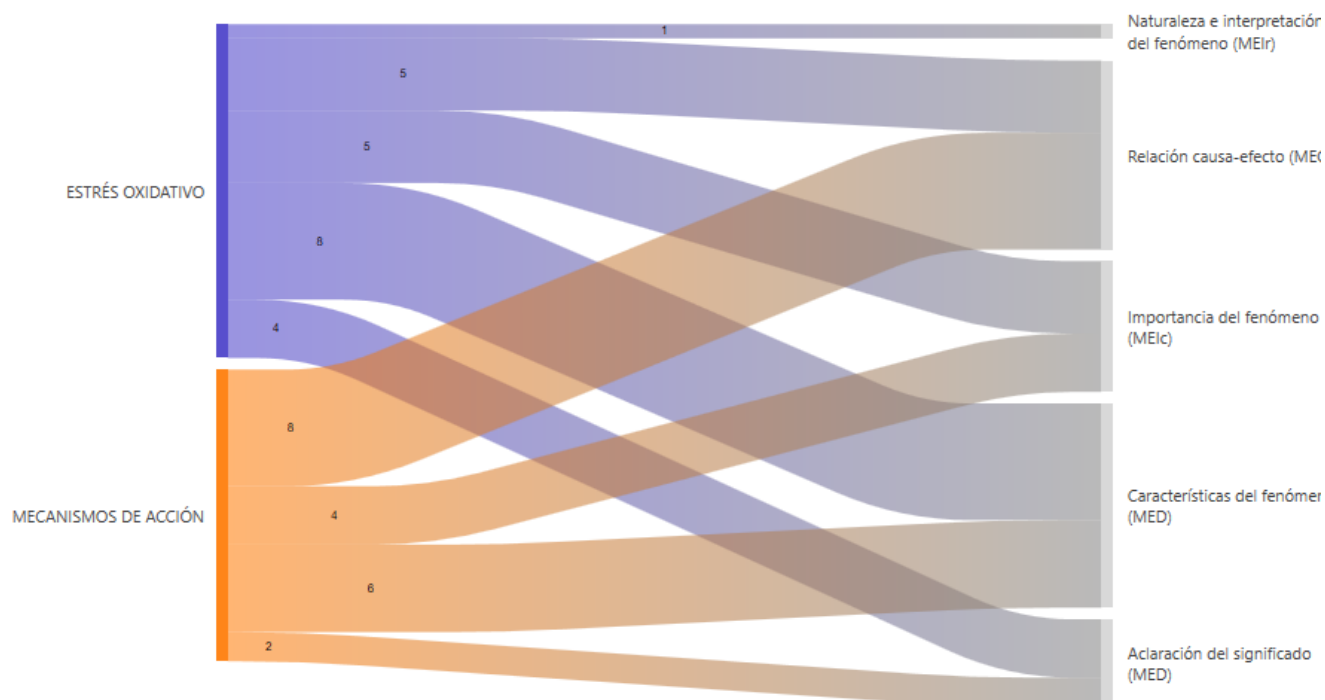
En las afirmaciones se encuentran modelos explicativos descriptivos e interpretativos principalmente. Esto es importante, porque la interpretación de un espectro requiere el conocer la teoría, y tomarla de base para realizar explicaciones sobre la naturaleza de un fenómeno, es por esto por lo que, realizan afirmaciones sobre la presencia de nanopartículas de cobre o de óxidos de cobre, además intentan realizar hipótesis sobre lo que ocurrió en cada protocolo para obtener los resultados que se mostraban en la gráfica. Existe por lo tanto una mayor profundización en las explicaciones realizadas desde un nivel molar y en menor medida desde un nivel eléctrico.

Estos protocolos fueron realizados por Acevedo-León et al., (2023) quienes compararon distintos métodos de síntesis de nanopartículas de cobre. Los autores concluyen que de acuerdo con la literatura algunos autores indican que la presencia de partículas de óxido de cobre I pueden presentar longitudes de onda de máxima absorbancia en los rangos de 590 y 800 nm o 250 y 300 nm; por lo que, en cuanto al primer protocolo que presenta un pico en 761 nm podría afirmarse que no es posible establecer la presencia de nanopartículas únicamente utilizando esta técnica, mientras que, para el protocolo 2 en el cual se obtuvo una longitud de onda máxima de 293 nm puede hacer referencia al óxido de cobre II (CuO) o cobre I (Cu_2O), por lo que, se sugiere que ocurrió una oxidación de la muestra. Esta misma situación se presenta en el protocolo 5. Esto puede deberse a las condiciones en las que fueron sintetizadas las nanopartículas, los reactivos utilizados y las variables controladas.

En cuanto al análisis de las preguntas de la categoría 3 el diagrama de co-ocurrencia se muestra en la Figura 40.

Figura 40.

Diagrama de co-ocurrencia para las preguntas pertenecientes a la categoría 3 de la prueba final.



Nota. Elaborado con Atlas.ti a partir del análisis de las respuestas de cada participante.

Cuando se trata de las explicaciones referentes a los mecanismos de acción se evidencian principalmente modelos explicativos descriptivos (MED) y causales (MEC), e intencionales (MEIc). Algunas de las afirmaciones encontradas en la pregunta relacionada con los mecanismos de acción de las nanopartículas se exponen a continuación:

“Las nanopartículas pueden impedir la formación de biopelículas bacterianas, que son comunidades de bacterias adheridas a superficies y difíciles de tratar con antibióticos tradicionales” (Participante 1, 2024).

“Las nanopartículas pueden penetrar en las bacterias y tener efectos directos sobre su material genético (ADN) o sobre proteínas específicas dentro de la célula. Esto puede interferir con los procesos celulares normales y llevar a la inactivación de las bacterias” (Participante 6, 2024)

“Las nanopartículas afectan a los microbios debido a que generan afectaciones en su sistema de producción de proteínas, por lo tanto, se genera una afectación en la transcripción de codones del ARNm y el ARN transmisor” (Participante 9, 2024).

En estas afirmaciones se muestra una mayor profundidad en las explicaciones proporcionadas, y se destaca la facilidad para establecer relaciones de causalidad y de reconocer la importancia de estos mecanismos de acción ante posibles casos de resistencia bacteriana, lo que genera un gran potencial en el uso de nanopartículas metálicas, sin embargo, en cuanto al nivel molecular y la descripción detallada de cómo ocurren dichos mecanismos se evidencia superficial en todas las respuestas.

Para la pregunta sobre el estrés oxidativo se encontraron afirmaciones que podían categorizarse en cuatro modelos explicativos, el MED, el MEIc, el MEC y el MEIr. Algunas citas importantes son:

“el estrés oxidativo es un desequilibrio en radicales libres y antioxidantes, dicho desequilibrio esta favorecido hacia los radicales libres, lo que implica daño a las estructuras esenciales de la célula como de proteínas, el ADN y los lípidos de la membrana” (Participante 1, 2024).

“Las nanopartículas metálicas pueden generar especies reactivas de oxígeno (ROS) cuando interactúan con el oxígeno y el agua en el medio ambiente. Las ROS, como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el anión superóxido (O_2^-) y el radical hidroxilo ($OH^\bullet$), son altamente reactivas y pueden causar daños oxidativos en las células bacterianas” (Participante 2, 2024)

“el estrés oxidativo es un fenómeno bioquímico que ocurre cuando hay un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad de los sistemas antioxidantes para neutralizar estas especies” (Participante 6, 2024).

Estas respuestas derivan de la interpretación de una gráfica que representan distintos modelos simbólicos sobre los mecanismos de acción de las nanopartículas contra las bacterias, permitiendo concluir que estos derivan en la generación de estrés oxidativo a la célula bacteriana. Los participantes generaron modelos explicativos en torno a estos procesos para establecer la definición de estrés oxidativo, por ende, se evidencia una buena profundidad al momento de explicar el fenómeno, estableciendo las características de este y la importancia de comprender y explicar este proceso porque también afecta la salud humana y cómo prevenirlo. Finalmente, logran establecer relaciones causales entre la acción de las nanopartículas y la generación de estrés oxidativo y posterior muerte de las células bacterianas.

En la Tabla 27 se condensan los resultados de los modelos explicativos encontrados en las respuestas de los participantes a la prueba final, y el nivel de profundidad alcanzado teniendo en cuenta la rúbrica de evaluación utilizada también en la prueba inicial.

Tabla 27.

Resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba final.

RESULTADOS GENERALES PRUEBA FINAL		
Participante (P)	Modelo explicativo (ME)	Nivel de profundidad
P1	Descriptivo (MED)	3
	Causal (MEC)	2
	Intencional (MEIc)	2
	Interpretativo (MEIr)	3
P2	Descriptivo (MED)	3
	Intencional (MEIc)	1
	Interpretativo (MEIr)	3
	Causal (MEC)	2
P3	Descriptivo (MED)	2
	Intencional (MEIc)	2
	Interpretativo (MEIr)	1
P4	Descriptivo (MED)	3
	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	2
	Intencional (MEIc)	1
P5	Descriptivo (MED)	2
	Causal (MEC)	2
	Intencional (MEIc)	1
P6	Descriptivo (MED)	4
	Intencional (MEIc)	3
	Interpretativo (MEIr)	3
	Causal (MEC)	3
P7	Descriptivo (MED)	3
	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	2
	Intencional (MEIc)	1
P8	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	2
	Intencional (MEIc)	1
P9	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	1
P10	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	1
	Causal (MEC)	1

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de las respuestas.

7.9. Desde la construcción de modelos explicativos

Teniendo en cuenta los resultados de la prueba inicial y la prueba final se realizó un contraste entre estos para analizar los cambios percibidos en cada una, esta comparación se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28.

Comparación entre los resultados de la categorización de modelos explicativos en la prueba inicial y final.

Participante (P)	RESULTADOS GENERALES PRUEBA INICIAL		RESULTADOS GENERALES PRUEBA FINAL	
	Modelo explicativo	Nivel de profundidad	Modelo explicativo	Nivel de profundidad
P1	Descriptivo (MED)	2	Descriptivo (MED)	3
	Causal (MEC)	1	Causal (MEC)	2
			Intencional (MEIc)	2
			Interpretativo (MEIr)	3
P2	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	3
			Intencional (MEIc)	1
			Interpretativo (MEIr)	3
			Causal (MEC)	2
P3	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	2
	Intencional (MEIc)	1	Intencional (MEIc)	2
			Interpretativo (MEIr)	1
P4	Descriptivo (MED)	2	Descriptivo (MED)	3
	Interpretativo (MEIr)	1	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	1	Causal (MEC)	2
			Intencional (MEIc)	1
P5	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	2
	Causal (MEC)	1	Causal (MEC)	2
			Intencional (MEIc)	1
P6	Descriptivo (MED)	2	Descriptivo (MED)	4
	Intencional (MEIc)	1	Intencional (MEIc)	3
	Interpretativo (MEIr)	2	Interpretativo (MEIr)	3
			Causal (MEC)	3
P7	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	3
	Interpretativo (MEIr)	2	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	1	Causal (MEC)	2
			Intencional (MEIc)	1
P8	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	1	Interpretativo (MEIr)	2
	Causal (MEC)	1	Causal (MEC)	2
			Intencional (MEIc)	1
P9	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	1	Interpretativo (MEIr)	2
			Causal (MEC)	1
P10	Descriptivo (MED)	1	Descriptivo (MED)	2
	Interpretativo (MEIr)	1	Interpretativo (MEIr)	1
			Causal (MEC)	1

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de las respuestas.

En la Tabla 28 se puede apreciar que, en general, los participantes presentaron un nivel de profundidad más alto en las explicaciones realizadas después de la ejecución de la secuencia didáctica, llegando en algunos casos a construir modelos explicativos que no habían sido utilizados con anterioridad. Por otro lado, teniendo en cuenta la rúbrica diseñada para establecer el nivel de profundidad del discurso, es posible afirmar que únicamente uno de los participantes alcanzó un nivel de 4 (excelente) en uno de los modelos explicativos que manejaba, mientras que, para los demás modelos explicativos se obtuvieron niveles de profundidad de 3 (aceptable) y 2 (insuficiente), y para los modelos explicativos que emergieron en la prueba de salida se evidenció un nivel de profundidad de 1 (bajo).

Es importante resaltar que el nivel de profundidad se estableció a partir del manejo de las explicaciones en un nivel conceptual molar, molecular o eléctrico, dependiendo de las preguntas realizadas, por lo que, los niveles de profundidad más bajos se obtuvieron para las preguntas en las cuales se buscaba que los participantes realizaran explicaciones desde un nivel molecular y una dimensión energética o desde un nivel eléctrico y una dimensión energética. Se encuentra que, el modelo más utilizado y en el cual existieron mayores posibilidades de profundizar en el discurso fue el modelo explicativo descriptivo que intenta abordar las propiedades de un fenómeno.

Se establece entonces que, los profesores de ciencias en formación construyen modelos explicativos atendiendo a una necesidad educativa y a un interés específico, es decir que, para la construcción de nuevas explicaciones debe existir una problemática que se busque comprender y así acercarse a los modelos científicos que existen para entenderla. Además, el nivel de profundidad de los modelos explicativos que construyen deriva también de la población en la cual se desea intervenir, por lo tanto, los profesores en formación deben reconocer desde qué nivel conceptual del discurso se puede abordar una temática como el estudio de las nanopartículas cuando el objetivo principal es acercar a una población de niños y niñas de básica primaria a la comprensión de estos fenómenos, y cuando recurrir a niveles conceptuales que implican una mayor profundidad y complejidad como el molecular y el eléctrico, si es que la población en la cual se intervendrá se encuentra en la universidad.

CAPÍTULO V

8. CONCLUSIONES

A partir del problema de investigación y los objetivos planteados en este trabajo de investigación se concluye que:

- Frente a los modelos explicativos iniciales la mayoría de los participantes utilizan modelos explicativos descriptivos desde un nivel de profundidad bajo al abordar situaciones relacionadas con la síntesis, caracterización y aplicación de nanopartículas de especies de cobre como agentes antimicrobianos. Además, en menor medida se encontraron modelos explicativos interpretativos, intencionales y causales y se evidenció que el nivel de profundidad de las explicaciones se encuentra relacionado con el nivel conceptual desde el cual se analicen dichas explicaciones, puesto que, tal como lo mencionaba Jensen (1998), la enseñanza suele estar centrada en explicaciones únicamente desde el nivel molar, lo que genera superficialidad en las explicaciones.
- La metodología ABP fue fundamental para generar un ambiente colaborativo e interdisciplinar que permitiera promover el desarrollo de los distintos niveles de profundidad de las explicaciones de los participantes, fomentando la construcción de nuevas explicaciones, respecto a las nanopartículas de cobre y sus aplicaciones. Sin embargo, la heterogeneidad del grupo también influyó en los resultados con respecto al nivel de profundidad de los modelos explicativos en la prueba final, pues mientras algunos de los participantes eran graduados de universidad, otros, aún se encontraban en una etapa de fundamentación, lo que, claramente influye en las habilidades para comprender y explicar fenómenos.
- El uso de secuencias didácticas para abordar temáticas complejas como el estudio de nanopartículas es funcional y pertinente, cuando se abordan los aspectos generales siguiendo una construcción histórica de los conceptos principales, para posteriormente indagar en los procesos de obtención, caracterización y aplicaciones, pues de esta manera se incluyen aspectos fisicoquímicos, bioquímicos, microbiológicos, lo que permite reconocer la importancia de comprender temáticas de actualidad como las asociadas con nanotecnología desde una perspectiva integral e interdisciplinar. No es posible enseñar

únicamente desde un área específica del saber si lo que se busca es la comprensión de problemáticas de la vida cotidiana.

- En cuanto a la construcción de los modelos explicativos de profesores en formación es importante resaltar que, estos se construyen a partir de las interacciones con los modelos científicos que existen para explicar el porqué de los diferentes fenómenos asociados con las nanopartículas, por ende, para construir modelos explicativos desde los diferentes niveles del discurso es fundamental que se enseñe a los profesores en formación a comprender y explicar fenómenos desde un nivel molar, molecular y eléctrico y una dimensión no solo de composición / estructura sino también energética, pues de esta manera, los modelos que construyen para explicar una temática facilitan el abordaje conceptual, propiciando que las explicaciones no queden en lo superficial, reduciendo la posibilidad de generar confusión entre conceptos o errores conceptuales en los estudiantes.
- Los participantes construyen modelos explicativos de forma progresiva, identificando en primera medida significados dados desde un nivel molar del discurso y recurriendo a explicaciones poco detalladas, para posteriormente realizar explicaciones con mayores niveles de profundidad. En este proceso influyen factores como los procesos de indagación y consulta autónoma, el análisis de la construcción histórica de los conocimientos, los modelos explicativos abordados por los docentes u otras figuras que intervienen en su proceso de aprendizaje-enseñanza y por supuesto el nivel académico y el campo de profundización, pues esto puede determinar hasta qué punto pueden llegar a presentar explicaciones más complejas desde los distintos niveles conceptuales.
- La secuencia de actividades planteada permitió generar un espacio propicio para la construcción de modelos explicativos y para el desarrollo del nivel de profundidad de estos. Por lo que, el desarrollar actividades enlazadas a la formulación de un proyecto que permita resolver una problemática, como lo es, acercar a niños, niñas, adolescentes y adultos a temáticas de actualidad como la nanotecnología no es un tarea sencilla y presenta todo un reto para los profesores de ciencias naturales, pero permite tener en cuenta el contexto y la población en la cual se va a abordar la temática para de esta manera desarrollar estrategias didácticas adecuadas a un nivel de complejidad específico sin deformar la esencia del conocimiento científico, por lo que, se hace necesario el

abordaje interdisciplinar del conocimiento científico. Esto permitió alcanzar mayores niveles de profundidad de los modelos explicativos descriptivo (MED), interpretativo (MEIr), intencional (MEIc) y Causal (MEC), sin embargo, no se logró que los participantes construyeran modelos explicativos predictivos (MEP).

- La experimentación con la síntesis y caracterización de nanopartículas de especies de cobre proporcionó un contexto significativo y práctico para la construcción de modelos explicativos, obteniendo resultados favorables en cuanto al tamaño de los cristales, controlando variables como la temperatura, la agitación, el goteo y utilizando reactantes como el etilenglicol que evitan la aglomeración de las partículas formadas. Adicionalmente, mediante técnicas como la espectrofotometría UV-Vis y la difracción de rayos X (DRX) es posible identificar algunas características de las nanopartículas sintetizadas, teniendo en cuenta que, únicamente la DRX permitió establecer el tamaño del cristal y las especies de cobre presentes en la muestra. Sin embargo, es importante que, en otras investigaciones pueda utilizarse una mayor variedad de técnicas de análisis más preciso que permitan complementar la información obtenida.
- Finalmente, el análisis de susceptibilidad de la bacteria *Escherichia Coli* por medio del método Kirby-Bauer también mostró resultados favorables en cuanto a la inhibición del crecimiento de la bacteria. Se concluye que las nanopartículas de especies de cobre sintetizadas pueden llegar a presentar efectos antibacterianos y que la enseñanza de las aplicaciones de la nanotecnología influye de forma significativa en la capacidad para establecer relaciones entre la estructura de las nanopartículas y sus propiedades, permitiendo así desarrollar modelos explicativos en torno a los posibles mecanismos de acción de las nanopartículas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-León, D., Ossa-Orozco, C. P., y Torres-López, A. M. (2023). Evaluación de protocolos de síntesis de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre. *Ingeniería*, 28(2). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/19067/19087>
- Adúriz-Bravo, A. (2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. <https://duqi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/2774/248.pdf?sequence=1>
- Alzate Cano, M. (2007). Campo conceptual composición/estructura en Química: tendencias cognitivas: etapas y ayudas cognitivas. Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos. <http://hdl.handle.net/10259/75>
- Alzate Betancur, N. (2012). Propuesta curricular para la enseñanza de la química del carbono desde la aproximación histórica-epistemológica de Jensen. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20573>
- Amador-Rodríguez, R., Insuasty, D., Méndez-López, M., & Márquez, E. (2021). Promover Modelos Explicativos Sobre Las Interacciones Químicas Del felodipinocitocromo P450: Una Propuesta Didáctica Basada En La Modelización. *Química Nova*, 44, 1379-1387. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170784>
- Arias López, P. (2021). Obtención de nanopartículas magnéticas estabilizadas con biosurfactantes producidos a partir del hongo *Entonaema Liqueszens*. Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/3339>
- Balandrán-Quintana, R. R., y Mendoza-Wilson, A. M. (2021). Un acercamiento a los fundamentos y aplicaciones de la nanotecnología. *Tecnociencia Chihuahua*, 15(3), 167-185. <https://biblat.unam.mx/es/revista/tecnociencia-chihuahua/articulo/un-acercamiento-a-los-fundamentos-y-aplicaciones-de-la-nanotecnologia>
- Castro, J. y Ramos, M. (2016). Aplicación del método de aprendizaje basado en proyectos (ABP) en una institución de educación superior. [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54410>
- Causil V., L. A. y Rodríguez B., A. E. (2021). Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): experimentación en laboratorio, una metodología de enseñanza de las Ciencias Naturales. *Plumilla Educativa*, 27 (1), 105-128. DOI: 10.30554/pe.1.4204.2021.

- Chamizo, J. A. (2006). Los modelos de la química. *Educación química*, 17(4), 476-482.
<https://revistas.unam.mx/index.php/req/article/download/66030/57942>
- Cobo Gonzales, G., y Valdivia Cañotte, S. M. (2017). Aprendizaje basado en Proyectos.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RPUC_b7a4a14e755d1d27fa637bf5b462d5df
- Denzin, N. K., y Lincoln, Y. S. (2012). El Campo de la investigación.
[https://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/denzin_cap_i_introduccion_general_el_campo_de_la_investigacion_cualitativa .pdf](https://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/denzin_cap_i_introduccion_general_el_campo_de_la_investigacion_cualitativa.pdf)
- Díaz Guevara, C. A., Garay Garay, F. R., Acosta Paz, J. D., y Aduriz Bravo, A. (2019). Los modelos y la modelización científica y sus aportes a la enseñanza de la periodicidad química en la formación inicial del profesorado. doi: [10.1344/did.2019.5.7-25](https://doi.org/10.1344/did.2019.5.7-25)
- Estalayo, S.A., Gordillo, P.S., Iglesias, A.A., y López, S.M. (2021). Título del capítulo. En A. De Albéniz-Iturriaga., E. Pedrero., y B. Molina (Ed.), *Iniciación al Aprendizaje Basado en Proyectos* (pp. 5-8). Universidad de la Rioja.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/785222.pdf>
- Galleguillos, M. C. (2016). Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro de nanopartículas de cobre frente a *Enterococcus faecalis*. Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142358/Evaluaci%C3%B3n-de-la-actividad-antibacteriana-in-vitro-de-nanopart%C3%ADculas-de-cobre-frente-a-Enterococcus-faecalis.pdf?sequence=1#:~:text=Las%20nanopart%C3%ADculas%20met%C3%A1licas%2C%20como%20las,Candida%20albicans%20y%20Streptococcus%20mutans.>
- García Martín, J., y Pérez Martínez., J. E. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de actividades. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, (10), 37-63.
<https://doi.org/10.51302/tce.2018.194>
- Gilbert, J. K., y Boulter, C. J. (Eds.). (2000). *Developing Models in Science Education*.
[doi:10.1007/978-94-010-0876-1](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1)
- Gómez Hernández, A. (2021). La clasificación de los isómeros en libros de texto universitarios: un problema de orden histórico epistemológico. [PDF].

- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial Mc Graw Hill Education. [PDF].
- Izquierdo Aymerich, M., y Merino Rubilar, C. (2009). Los modelos en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 3477-3479. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/294710/383244>
- Jensen, W. B. (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook: I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679. <https://doi.org/10.1021/ed075p679>
- López de Sosoaga López de Robles, A., Ugalde Gorostiza, A. I., Rodríguez Miñambres, P., & Rico Martínez, A. (2015). La enseñanza por proyectos: una metodología necesaria para los futuros docentes. *Opción*, 31(1), 395-413. <https://www.redalyc.org/pdf/310/31043005022.pdf>
- Martí, J. A., Heydrich, M., Rojas, M., y Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista EAFIT*, 46 (158), 11-21. <https://repository.eafit.edu.co/bitstreams/42f6967c-0cdb-461c-b39f-1665ed5f343f/download>
- Martínez, F., Zuñiga G., E., y Sánchez Lafarga, A. (2015). Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 6(10). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2013.10.50967>
- Martínez Salcedo, Diana Paola. (2022). Aprendizaje basado en proyectos (ABPy), una estrategia metodológica interdisciplinar. *Nómadas*, 56, 295-304. Epub April 16, 2023. <https://doi.org/10.30578/nomadas.n56a15>
- Montesdeoca Esponda, S., Santana Viera, S., Guerra Santana, M. F., Rodríguez Pulido, J., y García Giménez, P. (2020). Aula Invertida y aprendizaje basado en proyectos para aprender Química: aplicación en prácticas de laboratorio del Grado en Ciencias del Mar. *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España*. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/74568>
- Mora, P.W., y Parga, L.D. (2005). De las investigaciones en preconcepciones sobre mol y cantidad de sustancia, hacia el diseño curricular en química. *Revista educación y pedagogía*, 17(43), 165-175. [PDF].

- Pacheco, J. M. G. (2013). Síntesis de nanopartículas de cobre mediante novedosa ruta química (Doctoral dissertation, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS). <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/769/1/Jes%C3%BAs%20Mar%C3%ADa%20Guajardo%20Pacheco%20Doctorado%20en%20Ciencia%20de%20materiales.pdf>
- Pariona, N., Hermida-Montero, Mtz-Enriquez, A., Sánchez-Rangel, Carrión, G., López-Lima, D., Rosas-Saito, G., Rodríguez-Hass, B., y Duran-Barradas, Z. (2018). Síntesis de nanopartículas de cobre para el control de hongos fitopatógenos. *Revista ECI Perú*, 15(2), 8-8. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2018.0017/>
- Pérez Nahar, C. V., y Pérez Cortés, G. A. (2023). Caracterización de habilidades de pensamiento crítico mediadas por la química en contexto en relación con la adsorción de Hg^{2+} sobre $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -nano soportadas en matriz biopolimérica. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/18830>
- Pérez, Z. P. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista electrónica educare*, 15(1), 15-29. <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194118804003.pdf>
- Sánchez Sánchez, R. (2009). La importancia de la historia y la epistemología de las ciencias para la organización lógica del discurso químico. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. <https://doi.org/10.17227/01203916.265>
- Torres Neches, B. D. L. (2021). Aprendizaje basado en proyectos: Estudio de caso sobre el potencial del método como modelo de enseñanza-aprendizaje en educación secundaria. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/48525/TESIS-1872-210727.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Valbuena Leguizamo, M. (2016). El ABP como alternativa metodológica para la cualificación de las prácticas de enseñanza de Fundamentos de Química. <http://hdl.handle.net/1992/13869>
- Vargas-Solano, Z., Granados- Olvera, J.A. y Hernández-Martínez, O. (2017). Síntesis de nanopartículas de plata como propuesta pedagógica para la enseñanza de la nanotecnología. *Revista de simulación y Laboratorio*, 4 (11), 43-52. <https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion y Laboratorio/vol4num11/Revista de Simulacion y Laboratorio V4 N11 6.pdf>

Vázquez-Muñoz, R., y Takeuchi, N. (2017). Enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria: Teoría y práctica. Momento, (54E), 38-50.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/67325/63270-320944-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villarraga, F. G. (2012). Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones.
https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf

10. ANEXOS

ANEXO A. Consentimiento informado de participación en la investigación.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Educadora de Educadores</i>	Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.
CONSENTIMIENTO INFORMADO DE PARTICIPACIÓN	
Apreciado docente y/o docente en formación agradecemos su interés por participar en la investigación del trabajo de grado titulado “Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos”, realizado por Wendy Dayanna Duque Aranda bajo la dirección del profesor Diego Alexander Blanco Martínez. Le solicitamos amablemente diligenciar el siguiente formato, después de haber recibido la información respectiva sobre su participación en el proyecto y estar de acuerdo con cada uno de los parámetros descritos, teniendo en cuenta que su información será utilizada única y exclusivamente para fines investigativos.	
Yo _____, identificado (a) con _____ número _____ de _____	
Manifiesto que he recibido la información adecuada y suficiente sobre el proyecto mencionado en este documento.	
Comprendo que mi participación es totalmente voluntaria, que puedo retirarme del estudio cuando quiera, informando las razones de mi decisión, la cual será respetada de forma íntegra.	
He sido informado/a de que mis datos personales serán protegidos y manejados con confidencialidad, y además puedo tener acceso y rectificación de estos.	
Reconozco que puedo solicitar información actualizada sobre el proyecto y/o los responsables de este, en el transcurso de la investigación.	
Presto libremente mi conformidad para participar en el taller titulado “Las nanopartículas de cobre como alternativa ante la resistencia bacteriana a los antibióticos: un caso de estudio desde la didáctica de la Química” el cual hace parte del proyecto de grado titulado “Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos”.	
Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.	
Para dejar constancia de lo anterior, firmo a continuación: _____ (Nombre y número de documento)	
Firmado a los ____ días del mes de junio de 2024, en Bogotá, D.C.	

ANEXO B. Instrumento de caracterización de los participantes.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Educando de educadores</i>	Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.		
INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN			
Apreciado docente y/o docente en formación agradecemos su interés por participar en la investigación del trabajo de grado titulado “Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos”, realizado por Wendy Dayanna Duque Aranda bajo la dirección del profesor Diego Alexander Blanco Martínez. Le solicitamos amablemente diligenciar la siguiente información con la finalidad de caracterizar a la población participante. Tenga en cuenta que la información aquí contenida es confidencial y será usada únicamente con fines investigativos.			
Nombre Completo			
Edad			
Género			
Nivel de escolaridad (marque con una X)	Primaria () Técnico ()	Secundaria () Tecnólogo ()	Pregrado () Posgrado ()
Título otorgado en su último nivel de escolaridad			
Institución en la cual alcanzó su último nivel de escolaridad			
Último año en el que desarrolló una actividad académica (curso, capacitación, conferencia)			

Nombre de la actividad académica más reciente (curso, capacitación, conferencia)		
Barrio o lugar de residencia		
Estrato socioeconómico		
Ocupación (si es docente en ejercicio o en práctica, mencione el nivel de escolaridad en el cual se desempeña, y las asignaturas que dirige)		
Horario laboral (en caso de no estar laborando, escriba no aplica).		
Tiempo que lleva desarrollando esta ocupación		
¿Presenta alguna dolencia, síntoma o enfermedad que le impida desarrollar sus actividades laborales y académicas? (en caso de ser afirmativa su respuesta, por favor descríballo brevemente, de lo contrario escriba no aplica)		

ANEXO C. Instrumento de caracterización de los modelos explicativos y las ideas previas en torno a la temática de nanopartículas con guía de validación de pares expertos.

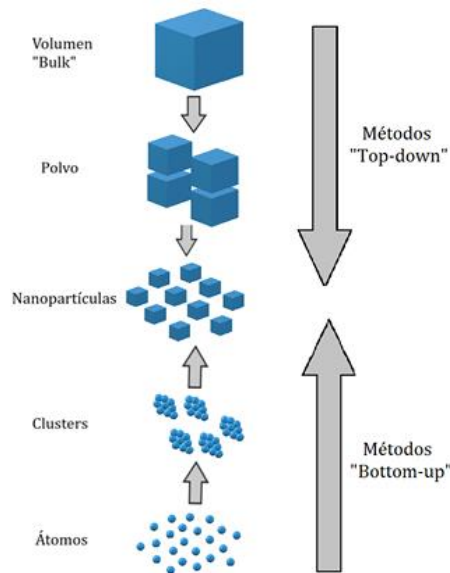
 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Educadora de educadores</i>	Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.	
INSTRUMENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IDEAS PREVIAS Y LA CARACTERIZACIÓN DE MODELOS EXPLICATIVOS EN TORNO A LA TEMÁTICA DE NANOPARTÍCULAS Y SUS APLICACIONES		
Realizado por: Wendy Dayanna Duque Aranda		
El presente instrumento hace parte del trabajo de grado titulado “Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos” . Este cuestionario tiene la finalidad de identificar las ideas previas y caracterizar los modelos explicativos de los participantes de esta investigación, con respecto a la temática presentada. Lea atentamente cada una de las preguntas y responda de acuerdo con sus conocimientos sin utilizar ningún tipo de herramienta.		
Tenga en cuenta que su participación en este estudio es confidencial, por lo que, su nombre no será publicado en ningún documento referente a la investigación y será utilizado únicamente para el análisis de la información.		
Nombre del participante: _____		
Carrera (Semestre): _____ Fecha: _____		
<u>CATEGORÍA 1. NIVEL MOLAR - DIMENSIÓN COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA</u>		
Lea el siguiente fragmento, y a partir de este de respuesta a las preguntas 1 y 2: De acuerdo con Gómez-Garzón (2018), “el prefijo griego “nano” significa “enano” y en el campo de la ciencia se refiere a estructuras que equivalen a la mil millonésima parte de algo” (p.76). Este prefijo, denota las bases de la nanotecnología como ciencia, y de algunos conceptos relacionados a esta como el de nanopartícula; la concepción de nanotecnología o nanociencias tiene su origen en la reunión anual de la Sociedad Americana de Física en 1959, donde Feynman expresó que: “La mayoría de las células son diminutas, pero están muy activas, fabrican sustancias, se mueven, se contorsionan y hacen multitud de cosas maravillosas, todo ello a pequeña escala. También almacenan información. Consideremos la posibilidad de que nosotros también pudiéramos fabricar entes tan pequeños que hicieran lo que quisiéramos, que pudiéramos fabricar un objeto que maniobrara a ese nivel” (Gómez-Garzón, 2018, p.76).		
1. Teniendo en cuenta el significado del prefijo “nano” y de la afirmación de Feynman, la cual puede considerarse como predictiva en el campo de las nanopartículas y sus características fascinantes, proporcione una definición del concepto NANOPARTÍCULA . _____ _____		
2. Teniendo en cuenta el prefijo “nano” y sus conocimientos sobre los conceptos de <u>partícula</u> , <u>material</u> y <u>tecnología</u> , ¿cómo podrían definirse y diferenciarse las siguientes palabras compuestas (nanopartícula , nanomaterial y nanotecnología)?		
NANOPARTÍCULA	NANOMATERIAL	NANOTECNOLOGÍA

--	--	--

En el diagrama de la Figura 1 se muestran los dos tipos de procesos conocidos en la síntesis de nanopartículas, entre los cuales se encuentran los métodos “*top down*” o métodos físicos, y por otro lado, los métodos “*bottom up*”, conocidos también como métodos químicos.

Figura 1.

Métodos “bottom up” y “top down” para la síntesis o fabricación de nanopartículas.



Nota. Tomado de *Parámetros que afectan el crecimiento de nanoestructuras de ZnO por síntesis hidrotermal* (p. 14), por Gramajo, 2021.

3. Teniendo en cuenta la figura anterior, y la connotación de “método físico o método químico” asociada a cada proceso, ¿cómo explicaría en términos generales cada tipo de proceso?

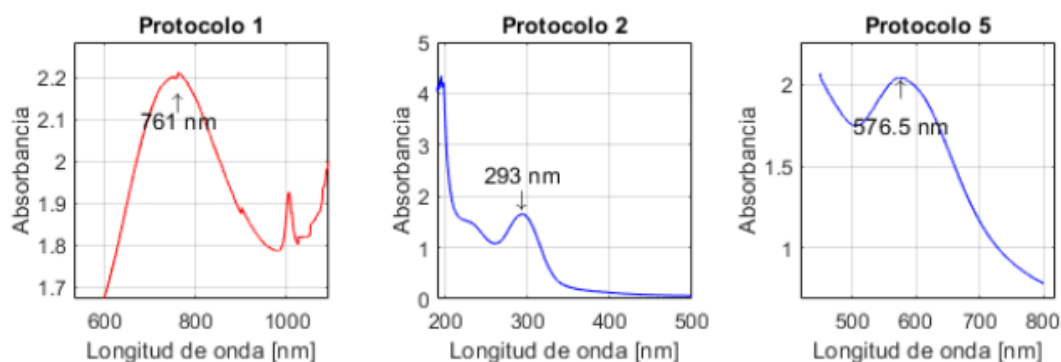
CATEGORÍA 3. NIVEL ELÉCTRICO - DIMENSIÓN ENERGÍA

4. En la caracterización de nanopartículas suelen utilizarse métodos de análisis como la **espectrofotometría UV-Vis**, la **espectroscopía IR** y la **Difracción de Rayos X**, entre otras. Mencione si conoce y/o ha utilizado alguna de las técnicas mencionadas y describa a continuación cuál es la utilidad de dichas técnicas en el análisis químico (puede responder únicamente para una o dos de las técnicas mencionadas).

En la Figura 2 se presentan diferentes espectros obtenidos mediante la técnica de espectrofotometría UV -Vis para la caracterización de nanopartículas.

Figura 2.

Espectros UV-Vis de nanopartículas obtenidas mediante tres protocolos distintos.



Nota. Cada uno de los protocolos realizados en esta investigación presentó cambios en los reactantes utilizados, el procedimiento de síntesis y el pretratamiento para la lectura de las muestras obtenidas. Tomado de *Evaluación de protocolos de síntesis de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre* (p. 7), por Acevedo-León et al, 2023.

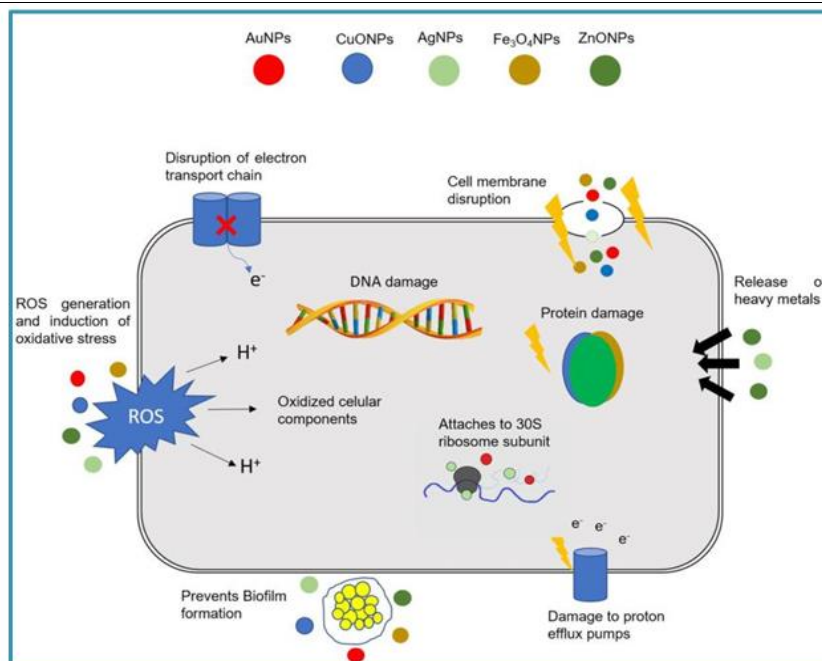
5. En relación con la Figura 2, realice una interpretación de los resultados que se evidencian en las gráficas, ¿qué se puede afirmar o deducir de los diferentes espectros UV-Vis presentados en la Figura 2?

CATEGORÍA 2. NIVEL MOLECULAR - DIMENSIÓN ENERGÍA

A continuación, en la Figura 3, se muestran algunas interacciones producidas entre nanopartículas metálicas y bacterias. De acuerdo con la imagen, responda las preguntas 6 y 7.

Figura 3.

Mecanismos de acción de las nanopartículas metálicas contra las bacterias.



Nota. Tomado de *Nuevas aproximaciones en nanomedicina contra bacterias multirresistentes: Nanopartículas inorgánicas* (p. 7), por Sebastía, 2020.

6. De acuerdo con la imagen anterior (Figura 3), describa algunos de los mecanismos que permiten demostrar el carácter antimicrobiano de las nanopartículas metálicas.

7. Uno de los mecanismos mostrados en la imagen anterior (Figura 3) es la inducción del estrés oxidativo, el cual se produce por un desequilibrio en la neutralización de especies reactivas de oxígeno (ROS). Este fenómeno es ampliamente estudiado en procesos bioquímicos, explíquelo brevemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-León, D., Ossa-Orozco, C. P., y Torres-López, A. M. (2023). Evaluación de protocolos de síntesis de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre. *Ingeniería*, 28(2). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/19067/19087>
- Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2). <https://revistas.fucsalud.edu.co/index.php/repertorio/article/download/191/173>
- Gramajo, M. L. (2021). Parámetros que afectan el crecimiento de nanoestructuras de ZnO por síntesis hidrotermal (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Tucumán). https://www.facet.unt.edu.ar/licfísica/wp-content/uploads/sites/57/2022/02/Tesis_Gramajo.ML_NanoZnO-Hidrotermal.pdf
- Sebastía, P. (2020). "NUEVAS APROXIMACIONES EN NANOMEDICINA CONTRA BACTERIAS MULTIRRESISTENTES: NANOPARTÍCULAS INORGÁNICAS" (Trabajo de fin de grado, Universidad Complutense). <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/PALOMA%20ALVAREZ%20SEBASTIA.pdf>

MATRIZ EVALUATIVA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IDEAS PREVIAS Y LA CARACTERIZACIÓN DE MODELOS EXPLICATIVOS EN TORNO A LA TEMÁTICA DE NANOPARTÍCULAS Y SUS APLICACIONES

La presente matriz evaluativa se construye en el marco del trabajo de grado titulado **“Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos”** para evaluar *el instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones.*

Para esto, se establecieron una serie de categorías en las cuales se relaciona cada uno de los niveles conceptuales y dimensiones del discurso químico (de interés en la investigación), descritos en la estructura lógica de la química planteada por Jensen en 1998. Las categorías establecidas se muestran en la Tabla 1 que se observa a continuación.

Tabla 1.

Categorías para el análisis del “instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones”.

CATEGORÍA	NIVEL	DIMENSIONES	PREGUNTAS	TIPO DE EXPLICACIONES Adaptado de Jensen (1998)
1	Molar	Composición y estructura.	1, 2 Y 3	Explicaciones referentes a la composición de sustancias y sus características y propiedades, como el estado, el color y la forma cristalina.
2	Molecular	Energía	6 y 7	Explicaciones referentes al mecanismo molecular de acción de nanopartículas metálicas contra las bacterias.
3	Eléctrico	Energía	4 y 5	Explicaciones referentes a la interpretación y análisis de espectros en términos energéticos.

Además de la categorización de las preguntas de acuerdo con la estructura lógica de la Química, se relaciona la tipología de modelos explicativos en química que suelen utilizar los estudiantes, entre los cuales se conocen el Modelo Explicativo Intencional (MEIc), el Modelo Explicativo Descriptivo (MED), el Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr), el Modelo Explicativo Causal (MEC) y el Modelo Explicativo Predictivo (MEP) (Amador-Rodríguez et al, 2021).

En la Tabla 2 se muestran las características de cada uno de los modelos explicativos, con la finalidad de poder establecer si para cada categoría de análisis, en las que se relaciona un nivel y una dimensión conceptual de la Química, los participantes utilizan o no determinado modelo.

Tabla 2.

Rúbrica para la caracterización de cada uno de los tipos de modelos explicativos de interés en la investigación.

Tipo de Modelo Explicativo (ME)	Indicadores para la caracterización del uso de cada Modelo Explicativo	Categoría 1			Categoría 2		Categoría 3	
		P1	P2	P3	P6	P7	P4	P5
		(Marque con una X si el participante utiliza el modelo explicativo en las preguntas de cada categoría de análisis)						
Intencional (MEIc)	Proporciona el origen, el alcance y los límites del fenómeno, además de reconocer la importancia de dicho fenómeno en lo que explica.							
Descriptivo (MED)	Presenta las características o partes que componen al fenómeno de manera detallada, realizando una aclaración del significado del fenómeno.							
Interpretativo (MEIr)	Proporciona explicaciones sobre la naturaleza del fenómeno, su distribución en el espacio y cómo cambia con el tiempo, recurriendo a la teoría para reforzar sus afirmaciones.							
Causal (MEC)	Explica el comportamiento desde la relación causa-efecto en las entidades de las cuales está compuesta el fenómeno.							
Predictivo (MEP)	Anticipa el comportamiento de un fenómeno bajo condiciones específicas.							

Nota. Rúbrica construida a partir de los tipos de modelos y sus características de *Promover modelos explicativos sobre las interacciones químicas del Felodipinocitocromo P450: Una propuesta didáctica basada en la modelización* (p. 1380), por Amador-Rodríguez, 2021.

Posteriormente, en la Tabla 3 se presentan los indicadores de logro, donde se establecen niveles de profundidad en el uso de cada modelo explicativo, los cuales van del número 1 al 4, donde el puntaje 1 hace referencia al nivel de logro BAJO, el puntaje de 2 a INSUFICIENTE, el puntaje de 3 a ACEPTABLE, y finalmente el puntaje de 4 a EXCELENTE.

Tabla 3.

Indicadores de logro para establecer el nivel de profundidad en el uso de un modelo explicativo.

INDICADORES PARA EL NIVEL DE PROFUNDIDAD EN CADA MODELO EXPLICATIVO (ME)

1 (Bajo)	2 (Insuficiente)	3 (Aceptable)	4 (Excelente)
Utiliza el modelo explicativo, sin embargo, la respuesta no es clara, ni coherente desde el nivel y la dimensión de la Química establecidos para la categoría.	Utiliza el modelo explicativo, pero lo hace de forma insuficiente, presentando una respuesta superficial, o poco coherente desde el nivel y dimensión conceptual de la Química establecidos para la categoría.	Utiliza el modelo explicativo de forma aceptable, presentando una respuesta clara, desde el nivel y dimensión de la Química establecidos para la categoría, sin embargo, falta profundidad o análisis en sus explicaciones.	Utiliza el modelo explicativo de forma excepcional, evidenciado una comprensión significativa del fenómeno, presentando una respuesta clara, coherente y acertada, expresada tanto desde el nivel como desde la dimensión de la Química establecidos para la categoría.

Finalmente, en la Tabla 4, se muestra la rúbrica de evaluación construida para analizar de forma general el “instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones”. Con esta rúbrica se busca establecer los modelos explicativos iniciales más frecuentes, además del nivel de profundidad con el cual lo utilizan. Por lo tanto, se debe asignar un valor de 1 a 4, teniendo en cuenta la Tabla 3, únicamente en la casilla del Modelo Explicativo que se haya marcado como utilizado en cada categoría, en la Tabla 2. Cada respuesta puede presentar diferentes modelos explicativos, dependiendo de las afirmaciones realizadas por el participante.

Tabla 4.

Niveles de profundidad de cada modelo explicativo presentado en el análisis del “instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones”.

CATEGORÍA	INDICADOR DE DESEMPEÑO	MEIc	MED	MEIr	MEC	MEP
		(Valoración numérica de acuerdo con el nivel de profundidad evidenciado en cada modelo explicativo)				
1 NIVEL MOLAR/ DIMENSIÓN COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA	Define de forma detallada y coherente lo planteado en cada una de las preguntas.					
	Identifica las características y diferencias entre los conceptos abordados.					
	Reconoce generalidades y diferencias entre los métodos físicos y químicos en la síntesis de					

	nanopartículas y describe explicaciones coherentes sobre sus ventajas y desventajas.					
2 NIVEL MOLECULAR/ DIMENSIÓN ENERGÍA	Proporciona explicaciones pertinentes sobre el mecanismo molecular de acción de las nanopartículas contra las bacterias.					
	Relaciona de forma pertinente las propiedades y características de las nanopartículas con su actividad antimicrobiana.					
	Comprende el fenómeno y los procesos moleculares implicados en el estrés oxidativo.					
3 NIVEL ELÉCTRICO/ DIMENSIÓN ENERGÍA	Explica de forma coherente y pertinente las aplicaciones de los métodos de análisis (Espectrofotometría UV-Vis, Espectroscopía IR y Difracción de Rayos X) implicados en la caracterización de nanopartículas.					
	Reconoce las características de un espectro UV-Vis y genera interpretaciones adecuadas sobre la información contenida en estos, y su relación con las propiedades ópticas del analito de interés.					

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amador-Rodríguez, R., Insuasty, D., Méndez-López, M., & Márquez, E. (2021). Promover Modelos Explicativos Sobre Las Interacciones Químicas Del felodipinocitocromo P450: Una Propuesta Didáctica Basada En La Modelización. *Química Nova*, 44, 1379-1387.
<https://www.scielo.br/j/qn/a/8frH9QTLXzXhGTNq9B5bTsp/>

GUÍA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IDEAS PREVIAS Y LA CARACTERIZACIÓN DE MODELOS EXPLICATIVOS EN TORNO A LA TEMÁTICA DE NANOPARTÍCULAS Y SUS APLICACIONES

Wendy Dayanna Duque Aranda

Estimado(a) docente el trabajo evaluativo que usted realizará tiene como finalidad contribuir al proceso de validación del *“instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones”*, el cual hace parte del trabajo de grado titulado **“Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos”**, para optar por el título de Magister en Docencia de la Química, con la finalidad de responder a la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles son los modelos explicativos que construyen un grupo profesores en formación del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar, molecular y eléctrico al abordar la síntesis caracterización y actividad antimicrobiana de nanopartículas de cobre fundamentada en el aprendizaje basado en problemas?*, mediante el cumplimiento del objetivo general de investigación:

“Analizar la construcción de modelos explicativos a nivel molar, molecular y eléctrico entre las dimensiones estructura/composición y energía, de un grupo de profesores de ciencias en formación al abordar el estudio de nanopartículas de especies de cobre mediante una metodología ABP”.

De acuerdo con Giere (1992):

“Un modelo es cualquier representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema estudiado califica como modelo teórico: no solo los modelos altamente abstractos, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, las redes, las analogías... siempre que habiliten a describir, explicar, predecir e intervenir” (citado en Adúriz-Bravo, 2010, p. 248)

Por esta razón se establece la siguiente guía de validación, en la cual se solicitan algunos datos personales de interés para el proceso, pero que no serán publicados en ningún momento en el documento final.

Agradezco su participación en el proceso de validación.

Nombres y apellidos	
Título profesional alcanzado hasta el momento	
Área y lugar en el cual labora actualmente	
Años de experiencia docente	
Enfoques pedagógicos de interés o en los cuales haya realizado investigaciones	

A continuación, se presenta la rúbrica de valoración, en la cual usted debe asignar una valoración de entre 1 y 4, para expresar su grado de acuerdo o desacuerdo en cada uno de los enunciados que se presentan sobre la pertinencia y coherencia del *“instrumento de identificación de ideas previas y la caracterización de modelos explicativos en torno a la temática de nanopartículas y sus aplicaciones”* Tenga en cuenta que:

- 1= Totalmente en desacuerdo
- 2= En desacuerdo
- 3= De acuerdo
- 4=Totalmente de acuerdo

Adicionalmente, encontrará una columna de observaciones, para realizar comentarios y sugerencias de cada uno de los enunciados propuestos.

EVALUACIÓN ESPECÍFICA DE ACUERDO CON LAS CATEGORÍAS PLANTEADAS EN EL INSTRUMENTO INICIAL Y EVALUATIVA			
CATEGORÍA	ENUNCIADO	VALORACIÓN	OBSERVACIÓN
1 Nivel Molar/ Dimensión Composición y estructura	Las preguntas planteadas se relacionan con el nivel molar y la dimensión composición/estructura de la estructura lógica de la química.		
	Las preguntas planteadas son adecuadas para conocer los modelos explicativos de		

	los participantes desde el nivel molar y la dimensión composición estructura.			
2 Nivel Molecular/ Dimensión Energía	Las preguntas planteadas se relacionan con el nivel molecular y la dimensión energética de la estructura lógica de la química.			
	Las preguntas planteadas son adecuadas para conocer los modelos explicativos de los participantes desde el nivel molecular y la dimensión energética.			
3 Nivel Eléctrico/ Dimensión Energía	Las preguntas planteadas se relacionan con el nivel eléctrico y la dimensión energética de la estructura lógica de la química.			
	Las preguntas planteadas son adecuadas para conocer los modelos explicativos de los participantes desde el nivel eléctrico y la dimensión energética.			
EVALUACIÓN GENERAL DEL INSTRUMENTO INICIAL Y LA RÚBRICA EVALUATIVA				
CRITERIO	ENUNCIADO	VALORACIÓN	OBSERVACIÓN	
Coherencia redacción y	Las preguntas son claras y coherentes.			
	Las preguntas presentan buena redacción y ortografía.			
	Las preguntas ofrecen la información suficiente para que el participante pueda contestarlas de forma precisa.			
	Las preguntas están planteadas de forma adecuada para la correcta interpretación y análisis por parte del participante.			
Relevancia pertinencia y	Las preguntas se relacionan de forma precisa con la temática objeto de estudio.			
	Las preguntas son relevantes y pertinentes para caracterizar los modelos explicativos iniciales de los participantes.			
	La cantidad de preguntas es la adecuada para reconocer los modelos explicativos iniciales de los participantes sobre la temática.			

	La forma en cómo se plantean las preguntas es adecuada para reconocer los modelos explicativos de los participantes con respecto a la temática.			
	El contenido abordado en cada una de las preguntas es adecuado para establecer con precisión las ideas previas de los participantes sobre la temática.			
Contenido y contextualización	El contenido de las preguntas se encuentra contextualizado y ofrece la posibilidad de que el participante realice un análisis adecuado de este.			
	El contenido de las preguntas es específico y apunta al análisis de modelos explicativos de la temática.			
	El contenido de las preguntas y la forma como están contextualizadas permite analizar conocimientos previos aún si el participante no conoce la temática objeto de estudio.			
Diseño	El diseño del instrumento es claro, pertinente y adecuado.			
	La forma como está diseñado el instrumento permite que se relacione y responda al objetivo que busca alcanzar.			
Categorías de evaluación	Las categorías planteadas en el instrumento son coherentes y adecuadas para dar respuesta al objetivo.			
	Las categorías planteadas son adecuadas y se relacionan de forma directa con las preguntas que hacen parte de estas.			
¿Considera que el instrumento es aplicable?		Modificaciones sugeridas		
OBSERVACIONES GENERALES				
Nombre del evaluador: _____ Firma: _____ Fecha: _____ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS				

Adúriz-Bravo, A. (2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/2774/248.pdf?sequence=1>

ANEXO D. Secuencia de actividades desde la metodología ABP.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Escuela Superior de Pedagogía

Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.

SECUENCIA DE ACTIVIDADES BASADA EN EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP) PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS EXPLICATIVOS SOBRE LA TEMÁTICA NANOPARTÍCULAS			
INFORMACIÓN GENERAL			
Docente	Wendy Dayanna Duque Aranda	Área	Química
Nivel educativo	Universitario	Institución	Universidad Pedagógica Nacional
Duración	5 sesiones	Tiempo/ sesión	3 horas
CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO			
Metodología	ABP	Enfoque	Modelos Explicativos
Perspectiva histórico-epistemológica	Niveles conceptuales y dimensiones de la estructura lógica de Jensen (1998).		
Objetivos	• Construir los modelos explicativos de profesores en formación en torno a las nanopartículas de cobre, su síntesis, caracterización y actividad antibacteriana. • Desarrollar un producto (material didáctico) que contribuya a la construcción de modelos explicativos en torno a las nanopartículas en diferentes nivel educativos.		
CONOCIMIENTO DISCIPLINAR			
Temática o núcleo conceptual	Nanopartículas de cobre.	Alcances	Síntesis, caracterización y estudio antimicrobiano de las nanopartículas de cobre.

Etapa inicial: Presentación y diseño	Contenidos	- Historia y conceptualización sobre las nanopartículas. - Método de síntesis de nanopartículas por coprecipitación y reducción química. -Técnicas de caracterización: Espectrofotometría UV-Vis, Espectroscopia IR y Difracción de Rayos X. - Técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer para el estudio del potencial antimicrobiano.	
	ETAPAS DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES DESDE EL ABP		
	SESIÓN 1 – Caracterización y contextualización de la problemática		
	Objetivos	1. Reconocer el concepto de nanopartícula desde su construcción histórico-epistemológica a partir de modelos explicativos descriptivos. 2.Establecer diferencias entre conceptos relacionados con las nanopartículas y algunos métodos de síntesis desde un nivel conceptual molar a partir de modelos explicativos descriptivos.	
	Enfoque	Nivel molar, molecular y eléctrico – Dimensión composición/estructura. Modelo Explicativo Descriptivo (MED).	
	Inicio	En la primera parte de la sesión se realiza un diagnóstico para conocer cuáles son las ideas previas y los modelos explicativos iniciales que presentan los participantes mediante un test que consta de 7 preguntas abiertas contextualizadas en la temática y categorizadas entre <u>los niveles molar, molecular y eléctrico</u>; además de <u>las dimensiones composición/estructura y energía</u>. Recursos: Test de ideas previas. Tiempo: 40 minutos.	
	Desarrollo	En la segunda parte de la sesión se realiza una contextualización a la problemática seleccionada, la cual es LAS NANOPARTÍCULAS DE COBRE COMO ALTERNATIVA ANTE LA RESISTENCIA BACTERIANA A LOS ANTIBIÓTICOS: Un caso de estudio desde la didáctica de las ciencias en diferentes niveles de formación. Para esto, se establecen <u>equipos de trabajo colaborativo</u> teniendo en cuenta los intereses de los participantes, y por grupo se pide definir una serie de objetivos para su	

		proyecto, una población a la cual se dirige, además de una guía sobre los conocimientos que deben construir para desarrollar el proyecto. Adicionalmente, se empieza la introducción a lo que es una nanopartícula desde la historia del concepto, y se explican y analizan conceptos relacionados como nanotecnología y nanomaterial y las características en cuanto a su composición y estructura, con un enfoque en el nivel molar. Por grupos de trabajo deben construir dos redes de Jensen, una conceptual con los contenidos relacionados a la temática, y otra con la perspectiva histórico-epistemológica del núcleo conceptual. Recursos: Presentación, formato para la construcción de redes de Jensen. Tiempo: 1 hora y 30 minutos.
	Final	Para el cierre de la sesión, se realiza una breve intervención sobre los métodos de síntesis de nanopartículas, tanto la técnica “bottom up” como “top down”, y se socializa la metodología escogida (coprecipitación por reducción química) para abordar la guía de laboratorio que deberán tener presente para la sesión 2. Aquí se realiza una consolidación de ideas relacionadas a las reacciones de óxido-reducción. Recursos: Presentación, recursos audiovisuales, guía de laboratorio. Tiempo: 50 minutos.
	Instrumentos de evaluación	*Instrumento de identificación de ideas previas y caracterización de los modelos explicativos. *Rúbrica para la evaluación de las redes de Jensen y el nivel de profundidad del Modelo Explicativo Descriptivo (MED).
	SESIÓN 2 – Síntesis de CuNPs	
	Objetivos	1. Aplicar una metodología de síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs), manipulando al menos una variable como temperatura, concentración y/o agitación. 2. Describir de forma creativa el procedimiento para la síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs) desde el nivel

	Etapla intermedia: Investigación-acción		molar basado en un Modelo Explicativo Descriptivo (MED) y un Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr).	
		Enfoque	Nivel molar - Dimensión composición/ estructura. Modelo Explicativo Descriptivo (MED). Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr).	
		Inicio	En la primera parte de la sesión se comparte con los participantes la guía de laboratorio, se socializan algunas consideraciones importantes con respecto a las variables más importantes que se mencionan en la literatura, como la temperatura, la agitación constante, el tiempo de goteo y la concentración de reactantes. Recursos: Guía de laboratorio y diapositivas. Tiempo: 15 minutos.	
		Desarrollo	En el desarrollo de la actividad, cada grupo tendrá una metodología diferente, en cuanto al control de una variable específica (agitación constante o temperatura). Además, se realizará la práctica con dos relaciones molares diferentes en la concentración de reactantes. • Agitación constante a temperatura ambiente y concentración de reactantes con una relación molar de 1,0 y con una relación de 2,5 (teniendo en mayor concentración al agente reductor). • Temperatura superior a los 50 °C sin agitación y concentración de reactantes con una relación molar de 1,0 y con una relación de 2,5 (teniendo en mayor concentración al agente reductor). Esto hace que se establezcan 4 metodologías diferentes de síntesis. Adicionalmente, se utiliza una metodología donde se utilice una temperatura superior a 60°C y agitación constante para ambas relaciones molares entre las concentraciones de reactantes (metodologías realizadas por la docente). Recursos: Guía de laboratorio, laboratorio de química, materiales y equipos de laboratorio, elementos de protección personal. Tiempo: 2 horas y 15 minutos.	
		Final	Para el cierre de la sesión, se les solicita a los participantes que por grupos realicen un material creativo para describir el proceso de síntesis y toma de fotografías, y se	

			les solicita realizar un texto argumentativo sobre los resultados y el análisis. Recursos: computadores, celulares con cámara. Tiempo: 30 minutos.
		Instrumentos de evaluación	*Rúbrica para la evaluación del nivel de profundidad del Modelo Explicativo Descriptivo (MED) y del Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr), expresado en los materiales didácticos contruidos para la divulgación de su proceso experimental.
		SESIÓN 3 – Caracterización de CuNPs	
		Objetivos	1. Interpretar el espectro IR, UV-Visible y el de difracción de Rayos X para las nanopartículas sintetizadas, desde un nivel eléctrico del discurso, utilizando el Modelo Explicativo Causal y Predictivo. 2. Caracterizar de forma detallada las CuNPs obtenidas, utilizando diferentes modelos explicativos.
		Enfoque	Nivel eléctrico – Dimensión energética. Modelo Explicativo Causal (MEC) y Predictivo (MEP).
		Inicio	En el inicio y desarrollo de la sesión, se realiza la separación de las suspensiones de CuNPs obtenidas, y el secado para la posterior lectura de las muestras tanto el Espectrofotómetro UV-Vis, como en la Espectroscopia IR. Adicionalmente, se explica con ayuda de material audiovisual cómo se pueden interpretar los espectros UV-Vis, IR y el difractograma, este último mediante el uso del software X’pert HighScore plus, y utilizando únicamente el espectro obtenido en la etapa de caracterización realizada por la docente, debido a las limitaciones técnicas.
		Desarrollo	Recursos: Espectrofotómetro UV-Vis, equipo de Espectroscopia IR, sala de informática, presentación y material audiovisual. Tiempo: 2 horas.
		Final	En el cierre de la sesión, los participantes deben interpretar cada uno de los espectros IR y UV-Vis, obtenidos con su metodología de síntesis y preparación de la muestra antes de la lectura, utilizando fuentes bibliográficas confiables y la información expuesta en el inicio de la sesión.

			Esta interpretación debe basarse en las siguientes preguntas guía, las cuales responden a los Modelos Explicativos Causal y Predictivo: ¿Por qué el fenómeno se comporta como lo hace? ¿Cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones específicas? Por lo que, los participantes deben realizar un texto de formato libre para sustentar su interpretación. Recursos: Sala de informática, presentación y material audiovisual. Tiempo: 1 hora.	
		Instrumentos de evaluación	*Rúbrica para el análisis del nivel de profundidad de los Modelos Explicativos Causal y Predictivo alcanzado en el texto sobre las preguntas guía.	
		SESIÓN 4 – Actividad antibacteriana de las CuNPs		
		Objetivos	1. Comprobar la actividad antibacteriana de la CuNPs, mediante el análisis de la técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer. 2. Construir un prototipo sobre el producto final de la estrategia didáctica desarrollada.	
		Enfoque	Nivel molecular – Dimensión energética. Modelos Explicativo Causal (MEC) e Intencional (MEIc).	
		Inicio	En el inicio de la sesión se realiza una breve explicación sobre los mecanismos de acción de las nanopartículas de cobre contra las bacterias, apoyada en el uso de material audiovisual. Posterior a la explicación, los participantes deben construir un mapa conceptual sobre la información presentada. Recursos: Presentación y material audiovisual, hojas y plumones o lapiceros. Tiempo: 1 hora.	
		Desarrollo	En el desarrollo de la sesión, se presenta el procedimiento para el análisis de actividad antibacteriana por medio del método Kirby-Bauer y los mecanismos de acción de las nanopartículas metálicas contra las bacterias. Con esta información los participantes deben realizar un material didáctico sobre uno de los mecanismos de acción abordados. Recursos: Presentación y material audiovisual, hojas y plumones o lapiceros.	

			Tiempo: 1 hora.
		Final	Para finalizar la sesión, los participantes deben reunirse y concretar las estrategias didácticas que van a emplear en su proyecto, realizando un esquema o prototipo del producto de su proyecto, el cual puede ser un material didáctico que responda a la problemática planteada en la etapa inicial. Recursos: Hojas, plumones o lapiceros, cartulina. Tiempo: 1 hora.
		Instrumentos de evaluación	*Rúbrica para la evaluación del material didáctico.
	Etapas finales: Evaluación	SESIÓN 5 – Presentación y evaluación de estrategias finales	
		Objetivos	1. Explicar diversas estrategias didácticas enfocadas a niveles de formación primaria, básica, media, universitaria para la comprensión de las nanopartículas de cobre como una alternativa a la resistencia bacteriana. 2. Analizar la construcción de modelos explicativos en los participantes después de la aplicación de la secuencia didáctica.
		Enfoque	Nivel molar, molecular y eléctrico – Dimensión composición/estructura y energía. Modelo Explicativo Causal (MEC), Intencional (MEIc), Descriptiva, (MED), Interpretativo (MEIr) y Predictivo (MEP).
		Inicio	En el inicio de la sesión, los participantes deben reunirse por grupos de trabajo, realizar una presentación donde exponga los objetivos de su proyecto, la población y el producto final (material didáctico) Recursos: Hojas, plumones o lapiceros, cartulina, sala de informática. Tiempo: 1 hora y 30 minutos.
		Desarrollo	Para el desarrollo de la sesión, por grupos colaborativos, deben realizar la sustentación de su trabajo y la exposición de su producto (material didáctico desarrollado), teniendo en cuenta los contenidos abordados en las sesiones anteriores. Recursos: Presentaciones.

			Tiempo: 30 minutos.	
		Final	Para la última parte de la sesión, se les entrega a los participantes un formato de evaluación, donde podrán realizar observaciones y evaluar el trabajo realizado por ellos mismos y sus compañeros. Este trabajo evaluativo se realizará por grupos de trabajo. Finalmente, se les solicita diligenciar el test de salida, el cual consta de 7 preguntas abiertas contextualizadas en la temática de nanopartículas y categorizadas entre <u>los niveles molar, molecular y eléctrico</u>; además de <u>las dimensiones composición/estructura y energía</u>, con la finalidad de analizar la construcción de modelos explicativos después de la aplicación de la secuencia de actividades. Recursos: Formatos de evaluación. Tiempo: 1 hora.	
		Instrumentos de evaluación	*Rúbrica para la evaluación de los productos entregados por cada grupo. *Instrumento de salida para la caracterización de los modelos explicativos	

ANEXO E. Actividad 1 – Redes de Jensen.



Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.

ACTIVIDAD S1: REDES DE JENSEN PARA LA COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS

Apreciados(as) docentes, para la primera actividad del taller encontrará a continuación dos tablas, las cuales deberá completar por grupo de trabajo, teniendo en cuenta las explicaciones abordadas, el material de apoyo y también material adicional en el cual deseen indagar.

NOMBRES DE LOS INTEGRANTES DEL GRUPO _____

OBJETIVOS DE LA SESIÓN

1. Reconocer el concepto de nanopartícula desde su construcción histórico-epistemológica a partir de modelos explicativos descriptivos.
2. Establecer diferencias entre conceptos relacionados con las nanopartículas y algunos métodos de síntesis desde un nivel conceptual molar a partir de modelos explicativos descriptivos.

RED DE JENSEN PARA LA PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE LAS NANOPARTÍCULAS				
Contribución al desarrollo del concepto	Autor(es)	Nivel	Dimensión	Enunciado

Formato tomado de Alzate Betancur (2012).

RED CONCEPTUAL DE JENSEN SOBRE CONCEPTOS ASOCIADOS A LAS NANOPARTÍCULAS DE CuNPs			
CONCEPTO	NIVEL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN

--	--	--	--

Formato tomado de Alzate Betancur (2012).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alzate Betancur, N. (2012). Propuesta curricular para la enseñanza de la química del carbono desde la aproximación histórica-epistemológica de Jensen. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20573>

ANEXO F. Guion de trabajo práctico de laboratorio para la síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre por espectrofotometría UV-Vis.



Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.

GUION PARA EL TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO PARA LA SÍNTESIS DE CuNPs POR EL MÉTODO POLIOL ADAPTADO

Wendy Dayanna Duque Aranda*

*Licenciada en Química. Maestrante en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional. wdduquea@upn.edu.co

El siguiente guion de Trabajo Práctico de Laboratorio (TPL) para la síntesis y caracterización por espectrofotometría UV-Vis de nanopartículas de cobre, surge en el marco del trabajo de grado titulado “**Los modelos explicativos que construyen los profesores en formación al abordar el estudio de nanopartículas de cobre (CuNPs) mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos**” desarrollado por Wendy Dayanna Duque Aranda bajo la dirección del profesor Diego Blanco Martínez. De acuerdo con Caamaño, A. (2007), el TPL se plantea en cinco fases: 1) Fase de percepción e identificación del problema; 2) Fase de planificación; 3) Fase de 4) Fase de 5) Fase de comunicación.

NOMBRES DE LOS INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO _____

OBJETIVOS

- Aplicar una metodología de síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs), manipulando al menos una variable como temperatura, concentración y/o agitación.
- Describir de forma creativa el procedimiento para la síntesis de nanopartículas de cobre (CuNPs) desde el nivel molar basado en un Modelo Explicativo Descriptivo (MED) y un Modelo Explicativo Interpretativo (MEIr).

FASE DE PERCEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMA

Las nanopartículas son reconocidas por presentar propiedades únicas que difieren de las propiedades del material a gran escala. Esto hace que sean estudiadas en numerosos campos investigativos, para indagar en los procesos de síntesis, caracterización y aplicaciones. Sin embargo, algunas de las metodologías de síntesis usadas suelen ser costosas, utilizar reactivos peligrosos y/o contaminantes

De acuerdo con Pacheco (2013), mediante la síntesis por vía húmeda se pueden controlar parámetros fundamentales en la síntesis como el pH, la agitación, la velocidad de adición de los reactivos, y además el uso de agentes estabilizantes, que permitirían obtener nanopartículas de cobre con morfología esférica y tamaños inferiores a los 100 nm. Además, el cobre “tiene propiedades antimicrobianas, por lo que se puede utilizar como fungicida, medicinas antimicrobianas, productos de higiene oral, aparatos médicos higiénicos y antisépticos” (Pacheco, 2013, p.6).

Por otra parte, teniendo en cuenta a Guzmán Duxtan et al., (2020) para la obtención de nanopartículas de metales se puede utilizar un poliol como solvente y agente dispersante, lo que permite obtener nanopartículas con tamaños entre 5-10 nm, utilizando etilenglicol (EG) como solvente, ácido ascórbico (AA) como agente antioxidante

y reductor y PVP para controlar el tamaño. Este método se plantea como una solución ante un proceso de síntesis complejo que requiere del uso de reactivos complicados de obtener, además del control de variables como la temperatura, la agitación, la concentración y la adición de reactivos. Por lo que, se pueden modificar o adaptar a laboratorios de docencia.

Indaga sobre qué se debe resolver, plantea hipótesis e identifica las variables significativas:

FASE DE PLANIFICACIÓN

En esta fase es importante determinar las variables que se abordan y caracterizarlas, para esto complete la siguiente información:

- ¿Cuál es la variable dependiente e independiente? _____
- ¿Cómo puede medirse la variable dependiente? _____
- ¿Cómo puede variarse y medirse la variable independiente? _____
- ¿Cuáles son las variables que se debe controlar? _____
- ¿Con qué precisión deben realizarse las medidas? _____

FASE DE REALIZACIÓN

En esta fase se incluye el montaje de la práctica y/o técnica de síntesis, la identificación de los materiales, equipos y reactivos que se utilizan en la síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre (CuNPs).

Materiales, equipos y reactivos

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
-Balón de tres bocas de 250 mL con sus respectivos tapones. -Bureta de 25 mL. -Tubo de reflujo. -Termómetro con soporte. -Pinza para balón con nuez doble. -Pinza para bureta con nuez doble. -Pinza para bureta. -Vasos de precipitados de 100 mL y de 400 mL. -Espátulas. -Escobillas. -Frasco lavador. -Erlenmeyer de 100 mL. -Embudo de vidrio. -Papel filtro. -Agitador de vidrio.	-Espectrofotómetro Uv-Vis. -Centrífuga. -Estufa y mufla. -Plancha de calentamiento. -Agitador magnético con magneto. -Baño de ultrasonido.	-Acetato de cobre. -Ácido cítrico. -Ácido ascórbico. -Etilenglicol. - Etanol al 96%.

Tabla 1. Materiales, reactivos y equipos utilizados en la síntesis de nanopartículas de cobre.

Montaje para la síntesis

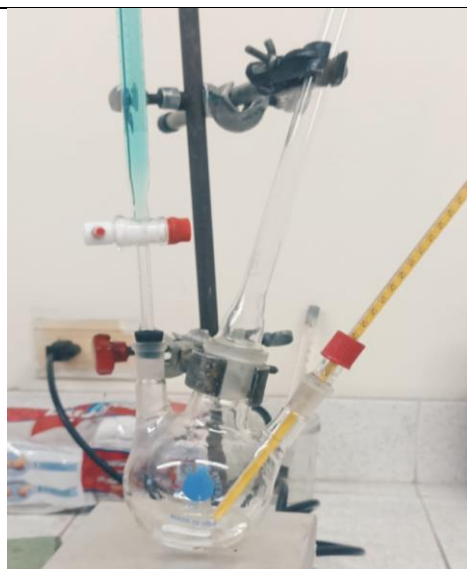


Figura 1. Montaje para la síntesis de CuNPs. Fotografía propia.

Procedimiento para la síntesis de CuNPs

El proceso de síntesis se encuentra basado en la técnica del poliol asistido, de acuerdo con Guzmán Duxtan et al., (2020), “los reactivos que se utilizan para preparar las NPs Cu fueron el Etilenglicol (EG) como solvente, polivinilpirrolidona (PVP) como agente dispersante, ácido ascórbico (AA) y ácido cítrico (AC) como agentes reductores” (p.1). Además de esto, se utiliza un microondas adaptado a la síntesis química. Sin embargo, para este procedimiento no se usa el PVP y para el control de la temperatura se utiliza una plancha de calentamiento convencional.

- 1) Pesar 0,36 g de $\text{Cu}(\text{Ac})_2$ en un vaso de precipitado de 100 mL, posteriormente, adicione 20 mL de Etilenglicol y disuelva agitando con un agitador de vidrio (si es necesario caliente la solución en una plancha de calentamiento para aumentar la solubilidad).
- 2) Por separado, pese 0,88 g de ácido ascórbico (AA) en un vaso de precipitado de 100 mL, posteriormente, adicione 20 mL de Etilenglicol y disuelva agitando con un agitador de vidrio (si es necesario caliente la solución en una plancha de calentamiento para aumentar la solubilidad).
- 3) Por separado, pese 1,037 g de ácido cítrico (AC) en un vaso de precipitado de 100 mL, posteriormente, adicione 20 mL de Etilenglicol y disuelva agitando con un agitador de vidrio (si es necesario caliente la solución en una plancha de calentamiento para aumentar la solubilidad).
- 4) Realice el montaje de la Figura 1, agregando el ácido ascórbico al balón redondo de tres bocas, y el precursor metálico a la bureta de 25 mL. Si su variable controlada es la agitación, debe agitar durante 15 min la solución contenida en el balón de tres bocas, antes de agregar el precursor metálico. Si su variable a modificar es la temperatura, caliente la solución de AA con reflujo constante hasta alcanzar 70-80° C, antes de agregar el precursor metálico.
- 5) Al alcanzar la temperatura deseada o el tiempo de agitación mencionado anteriormente, vierta gota a gota el precursor metálico que se encuentra en la bureta, sobre la solución de AA.
- 6) Al terminar la adición del precursor metálico, adicione el AC a la bureta y viértalo gota a gota sobre la solución de ácido ascórbico y el precursor metálico. Verifique que se forme una solución con coloración marrón-rojiza.

Procedimiento para el lavado y secado de las nanopartículas en la suspensión

- 1) Espere al menos 24 horas para que la solución obtenida se decante. Posteriormente, centrifugar a 3000 rpm x 30 min.
- 2) Separe el sobrenadante mediante filtrado, posteriormente realice un lavado del precipitado con agua destilada, y centrifugue la solución a 3000 rpm x 30 min. Debe realizar al menos 3 lavados con agua destilada y centrifugar entre cada lavado.
- 3) Finalmente, realice un lavado del precipitado con etanol al 96%, adicione la muestra en un crisol y seque la muestra en una estufa por 45 minutos a una temperatura de 60 °C.

Procedimiento para la lectura por espectrofotometría UV-Vis

- 1) Tome aproximadamente 1 mL de la muestra de nanopartículas, después del tercer lavado con agua destilada y diluya en 3 mL de agua destilada. Realice la lectura de la muestra en un Espectrofotómetro UV-Vis desde 190 a 1000 nm. Tome nota de la longitud de onda máxima obtenida.
- 2) Tome una cantidad muy pequeña (0,05 g aproximadamente) del precipitado obtenido y previamente lavado con agua destilada y alcohol, disuelva en 3 mL de etilenglicol en un baño de ultrasonido por al menos 20 segundos, y realice la lectura de la muestra en un Espectrofotómetro UV-Vis desde 190 a 1000 nm. Tome nota de la longitud de onda máxima obtenida.

FASE DE INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN

En esta fase es fundamental que realice una comparación de los resultados, con los demás grupos de laboratorio, además de los resultados mencionados en el material de apoyo compartido y socializado durante la sesión.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL GRUPO	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO CON OTROS GRUPOS	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADOS CON LA LITERATURA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caamaño, A. 2007. Los trabajos prácticos en ciencias. En Jiménez Aleixandre, M.P. (coord.) (2007) Enseñar Ciencias. Barcelona: Grao.
- Guzmán Duxtan, A. J., Rengifo Maraví, J. C., y Echevarría Muñoz, J. M. (2020). Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre (NPs Cu) por el método poliol asistido vía microondas (MW). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), 412-427. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000400412&script=sci_arttext
- Pacheco, J. M. G. (2013). *Síntesis de nanopartículas de cobre mediante novedosa ruta química* (Doctoral dissertation, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS). <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/769/1/Jes%C3%BAs%20Mar%C3%ADa%20Guajardo%20Pacheco%20Doctorado%20en%20Ciencia%20de%20materiales.pdf>

ANEXO G. Actividad 3 – Caracterización de nanopartículas de cobre.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>educando de educadores</i>	Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Química. Maestría en Docencia de la Química.
ACTIVIDAD SESIÓN 3: CARACTERIZACIÓN DE CuNPs A TRAVÉS DE ESPECTROFOTOMETRÍA UV-Vis Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
Apreciados(as) docentes, para la tercera actividad del taller encontrará a continuación los objetivos de la práctica de caracterización de nanopartículas de cobre (CuNPs), además de dos preguntas guía, las cuales debe utilizar para realizar un texto mínimo de una página, donde realice un análisis del espectro UV-Vis y del difractograma.	
NOMBRES DE LOS INTEGRANTES DEL GRUPO _____	
<u>OBJETIVOS DE LA SESIÓN</u>	
1. Interpretar el UV-Visible y el de difracción de Rayos X para las nanopartículas sintetizadas, desde un nivel eléctrico del discurso, utilizando el Modelo Explicativo Causal y Predictivo. 2. Caracterizar de forma detallada las CuNPs obtenidas, utilizando el Modelo Explicativo Causal y el Predictivo.	
<u>PREGUNTAS GUÍA</u>	
¿Por qué el fenómeno se comporta como lo hace? ¿Cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones específicas?	
<u>TEXTO LIBRE SOBRE SUS ANÁLISIS Y CONCLUSIONES</u> (recuerde que también puede hacer uso del material bibliográfico compartido durante las sesiones) _____ _____ _____ _____ _____	

ANEXO H. Formato de coevaluación de la actividad final (Infografía).

EVALUACIÓN DE LAS INTERVENCIONES DE MIS COMPAÑEROS S4

Apreciados(a) docente, en este instrumento usted encontrará algunas categorías para evaluar el producto o material didáctico presentado por sus compañeros y por su grupo de trabajo, la idea es que usted pueda realizar algunas observaciones con respecto a la presentación, la creatividad y la pertinencia del material didáctico.

NOMBRE DEL PARTICIPANTE _____

OBJETIVOS DE LA SESIÓN

1. Desarrollar un material didáctico enfocado a una población en un nivel de formación específico, para la comprensión de las nanopartículas de cobre como una alternativa ante la resistencia bacteriana.
2. Evaluar los materiales didácticos de cada uno de los grupos de trabajo desde la presentación, la pertinencia y los contenidos.

ACTIVIDAD

Realice un texto donde evalúe la presentación de cada uno de los grupos de trabajo, con respecto al material didáctico entregado. Tenga en cuenta la calidad del contenido, la claridad y la presentación, la creatividad, si se evidencia un trabajo en equipo, y qué tan relevante y aplicable es el material diseñado. A continuación, se presentan las rúbricas para la valoración de cada grupo. La escala de valoración se describe a continuación:

- 1- Necesita mejorar.
- 2- Aceptable.
- 3- Bueno.
- 4- Excelente.

EVALUACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO DEL GRUPO __					
INDICADOR	1	2	3	4	Observaciones
CONTENIDO					
CLARIDAD Y PRESENTACIÓN					
CREATIVIDAD					
PARTICIPACIÓN Y COLABORACIÓN					
RELEVANCIA Y APLICABILIDAD					