

ESTABLECIMIENTO DE LAS INTERACCIONES CTSA MEDIADA POR UN CASO
SIMULADO FUNDAMENTADO EN LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE AgNPs
SINTETIZADAS POR UNA TÉCNICA VERDE

LIZETH PAOLA VILLAR BAQUERO
MARÍA CAMILA CHUPATECUA CASTILLO
JENIFER ALEJANDRA ORTEGON CHACÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2024

ESTABLECIMIENTO DE LAS INTERACCIONES CTSA MEDIADA POR UN CASO
SIMULADO FUNDAMENTADO EN LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE AgNPs
SINTETIZADAS POR UNA TÉCNICA VERDE

LIZETH PAOLA VILLAR BAQUERO
MARÍA CAMILA CHUPATECUA CASTILLO
JENIFER ALEJANDRA ORTEGON CHACÓN

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Química

Director. Mg. Diego Alexander Blanco Martínez.
Grupo Didáctica y sus ciencias. Línea
Interdisciplinariedad y química en contexto: una
perspectiva experimental en la didáctica de la
química

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2024

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer profundamente a Dios, quien ha sido nuestra guía y fortaleza en cada momento de incertidumbre, su presencia constante ha iluminado nuestro camino y sin su bendición este logro no habría sido posible.

A nuestro director, el profesor Diego Alexander Blanco por ser mucho más que un excelente docente, gracias por compartir su sabiduría, por su apoyo continuo y por las enseñanzas no solo académicas sino también de vida, su orientación ha sido esencial para nuestro crecimiento durante todo este proceso.

A nuestras familias, por su amor incondicional y su apoyo constante que nos ha impulsado a seguir adelante, a nuestros padres Cecilia Baquero, Diana Castillo, Claudia Chacón y Pedro Ortegón por su sabiduría, paciencia y el apoyo constante que nos brindaron en todo momento, a nuestros hermanos, por su comprensión y compañía durante todo este proceso y a nuestras mascotas Samantha y Tonny fieles compañeros en las largas noches de estudio, siempre brindándonos consuelo y compañía.

A Rosse Duarte quien fue un pilar fundamental en mi formación, su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su ejemplo como profesional y ser humano me inspiraron a perseverar y dar lo mejor de mí.

A la Universidad Pedagógica Nacional, por proporcionarnos una formación académica de excelencia que nos permitió desarrollarnos como licenciadas en química y nos preparó para enfrentar los desafíos del futuro.

A Giovanni Pérez, por compartir con nosotras su conocimiento y experiencia en nanotecnología, los cuales enriquecieron significativamente nuestro trabajo de grado y nos permitieron profundizar en el tema.

A la profesora Yolanda Ladino, por su disposición, su tiempo y sus valiosos consejos que fueron fundamentales para el desarrollo de este proceso.

A todo el personal de laboratorio, especialmente a Mercy Viasus y Johan Malagón, por su paciencia y por siempre estar dispuestos a ayudarnos en cada práctica, haciendo que cada experiencia en el laboratorio sea más enriquecedora.

A todo el personal de servicios generales, por su amabilidad y actitud positiva, que hicieron nuestros días en la universidad más agradables.

Por último, a nosotras mismas por el esfuerzo compartido, la dedicación y el compañerismo que hicieron que este camino fuera más llevadero y gratificante, este logro es un reflejo de nuestro compromiso y constancia que nos permitió superar cada obstáculo en el camino.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I	9
1. JUSTIFICACIÓN	9
2. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo general.....	12
3.2. Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO II	12
4. ANTECEDENTES	12
4.1. Relacionado con el enfoque CTSA.....	13
4.2. Relacionado con un caso simulado.....	14
4.3. Relacionado con la síntesis verde de NPs.....	15
4.4. Relacionado con la actividad antimicrobiana.....	16
5. MARCO DE REFERENCIA	17
5.1. Caso simulado.....	17
5.2. Enfoque CTSA.....	19
5.3. Interacciones CTSA.....	20
5.4. Nanotecnología.....	22
5.5. Nanomateriales y nanopartículas.....	22
5.5.1. Propiedades de AgNPs.....	24
5.5.2. Síntesis de AgNPs.....	24
5.5.3. Caracterización de las AgNPs.....	26
5.6. Extracto vegetal (<i>Allium sativum</i>).....	27
5.7. Escherichia Coli.....	28
CAPÍTULO III	29
6. MARCO METODOLÓGICO	29
6.1. Tipo y enfoque metodológico.....	29
6.2. Participantes de la investigación.....	29
6.3. Fases de la investigación e instrumentos.....	30
6.3.1. Fase de contextualización.....	30
6.3.2. Fase de diseño e instrumentos.....	34

6.3.3.	Fase de evaluación	40
6.4.	Validación de instrumentos	43
6.4.1.	Caso simulado	45
6.4.2.	Prueba de entrada y salida.....	45
CAPÍTULO IV	.....	46
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	.....	46
7.1.	Análisis de resultados del diseño experimental	47
7.1.1.	Síntesis verde de AgNPs.....	47
7.1.2.	Caracterización de AgNPs	47
7.1.3.	Actividad antimicrobiana: Inhibición del crecimiento de la bacteria <i>E. coli</i>	48
7.2.	Selección de los elementos teóricos para el diseño del CS.....	50
7.3.	Análisis del caso simulado basado en roles.....	53
7.3.1.	PREGUNTA 1.....	53
7.3.2.	PREGUNTA 2.....	58
7.3.3.	PREGUNTA 3.....	63
7.3.4.	PREGUNTA 4.....	68
7.4.	Análisis general del caso simulado	73
7.5.	Análisis prueba de entrada y salida	74
7.5.1.	PREGUNTA 1.....	75
7.5.2.	PREGUNTA 2.....	76
7.5.3.	PREGUNTA 3.....	77
7.5.4.	PREGUNTA 4.....	79
7.5.5.	PREGUNTA 5.....	80
8. CONCLUSIONES	.....	82
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	.....	85
10. ANEXO	.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación según sus dimensiones.	24
Figura 2. Mecanismo de formación de AgNPs a partir de la sal AgNO ₃	25
Figura 3. Síntesis verde de AgNPs.	26
Figura 4. Resumen de fases.	30
Figura 5. Montaje para la síntesis de NPs.....	32
Figura 6. Esquema conceptual	35
Figura 7. Categorías de interacciones CTSA.	38
Figura 8. Formación de color de AgNPs.	47
Figura 9. Espectro de AgNPs.....	48
Figura 10. Control de negativo de AgNPs.	50
Figura 11. Pruebas indican sensibilidad del microorganismo a las AgNPs.....	50
Figura 12. Desempeño de los PFLQ en la prueba de entrada..	80
Figura 13. Desempeño de los PFLQ en la prueba de salida.	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas del CS con su respectiva de intención.	36
Tabla 2. Aplicación del caso simulado sobre AgNPs.	37
Tabla 3. Preguntas de la prueba de entrada con su respectiva de intención.....	38
Tabla 4. Presentación de conceptos clave.....	40
Tabla 5. Rúbrica de interacciones CTSA y dominio de conceptos.	42
Tabla 6. Rúbrica de validación de instrumentos.	44
Tabla 7. Diseño de acuerdo con la propuesta de Martínez, Villamil y Peña (2008)	50
Tabla 8. Categorización según las respuestas presentadas por los PFLQ.....	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Caso simulado	92
Anexo 2. Prueba de entrada	98
Anexo 3. Transcripción de audios del caso simulado	102
Anexo 4. Ejemplo de formato de validación de instrumentos	121

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CTSA	Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente
AgNPs	Nanopartículas de Plata
NPs	Nanopartículas
CS	Caso simulado
PFLQ	Profesores en formación de Licenciatura en Química

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología representa un área de investigación emergente en el estudio de la materia a nano escala, en la que convergen diversas disciplinas para explorar fenómenos únicos a nivel atómico, iónico y molecular. En este contexto, las nanopartículas de plata han ganado interés progresivo debido a sus excepcionales propiedades ópticas, catalíticas y antimicrobianas, lo que las convierte en una opción ideal para aplicaciones clínicas, energéticas y ambientales, entre otras.

Este trabajo de investigación se centra en la síntesis verde y caracterización de nanopartículas de plata, AgNPs, utilizando extractos de *Allium sativum* (ajo) como agente reductor ecológico y sostenible, lo que ofrece una alternativa eco-amigable con el medio ambiente en comparación con los métodos convencionales que emplean sustancias tóxicas, es así que se generó una problemática contextualizada teniendo en cuenta las propiedades antimicrobianas de estas nanopartículas para fortalecer las interacciones entre la ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en un grupo de profesores en formación de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, promoviendo una visión crítica sobre las implicaciones sociales, ambientales y éticas del desarrollo nanotecnológico. La investigación no solo contribuye al conocimiento sobre la síntesis, caracterización y actividad antimicrobiana de las AgNPs, sino que además tiene un impacto educativo al reemplazar los métodos convencionales contaminantes por procesos sostenibles.

A partir de lo mencionado anteriormente, este documento se estructura de la siguiente manera: En el primer capítulo se desarrollaron los componentes fundamentales como el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, donde se analizan las interacciones CTSA en relación con la nanotecnología, específicamente a través de la síntesis verde de AgNPs y su actividad antimicrobiana como solución a problemas ambientales actuales, además, en este apartado se formuló la pregunta problema la investigación, estableciendo los objetivos generales y específicos del estudio, los cuales están alineados con la necesidad de abordar problemáticas socioambientales desde una perspectiva científica y tecnológica.

En el segundo capítulo, se presenta el marco referencial el cual está fundamentado en la revisión de los antecedentes del problema de investigación, así como en los conceptos y principios considerados a lo largo del trabajo de grado, además, abarca una revisión bibliográfica detallada sobre los componentes didácticos y disciplinares

que sustentan el estudio, entre los cuales se destacan las interacciones bajo el enfoque CTSA aplicadas al aprendizaje de la nanotecnología.

En el tercer capítulo, se describe el marco metodológico de la investigación la cual se desarrolló en tres fases, correspondientes a cada uno de los objetivos específicos, además se adoptó un enfoque cualitativo basado en el paradigma interpretativo, con el propósito de analizar las interacciones CTSA en el contexto de la síntesis verde de AgNPs, las fases fueron: contextualización, diseño y evaluación.

En la fase de contextualización, se realizó el diseño experimental para la síntesis verde de las AgNPs, seguido de su caracterización y prueba de sensibilidad antimicrobiana, además en esta etapa, se recopilaron y reportaron los datos obtenidos. Durante la fase de diseño, se estructuró e implementó un caso simulado basado en los datos obtenidos en la fase anterior con un enfoque en la problemática actual de la contaminación en la cuenca alta del río Bogotá, por lo que, para facilitar la comprensión de este problema se llevaron a cabo tres presentaciones donde se explicaron conceptos claves relacionados con el tema. Finalmente, en la fase de evaluación, se desarrolló una rúbrica para identificar y caracterizar las interacciones CTSA que los profesores en formación lograron establecer, esta rúbrica se dividió en tres niveles de evaluación (ingenuo, plausible y adecuado) y cinco categorías que reflejan las interacciones CTSA, permitiendo una evaluación de sus niveles de comprensión y análisis.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos en cuanto a las interacciones CTSA que los profesores en formación de licenciatura en química fueron capaces de establecer de acuerdo con el caso simulado propuesto, el cual abordaba una problemática ambiental y a través del análisis teniendo en cuenta la rúbrica diseñada para la fase de evaluación, se logró evidenciar que los profesores iniciaron con un nivel ingenuo, pero a medida que avanzaba el caso simulado y se les brindaba más información y herramientas, su nivel progresó hacia categorías más avanzadas, alcanzando niveles plausibles y adecuados, esta evolución reflejó un avance significativo en la capacidad de los participantes para comprender e integrar estas interacciones, por último, se presentan las conclusiones de la investigación, las cuales destacan el avance de la metodología utilizada.

CAPÍTULO I

1. JUSTIFICACIÓN

En la sociedad contemporánea, la importancia de la nanotecnología es evidente, ya que ha desempeñado un papel crucial en la transformación hacia una mejor calidad de vida, al ofrecer tratamientos médicos más eficaces y menos invasivos, basados en diagnósticos más precisos. Además, la nanotecnología se considera una ciencia relativamente nueva que ha sido fundamental para abordar desafíos globales, especialmente en términos medioambientales, y ha impulsado la innovación en una amplia gama de sectores industriales y científicos, esto se logra mediante la obtención de materiales con propiedades únicas y la creación de dispositivos electrónicos más rápidos y potentes (Saxl, 2004).

Por otro lado, en la enseñanza de la química o las ciencias en general es necesario que los profesores en formación fortalezcan las interacciones CTSA con los grandes desafíos mundiales, ya que según Martínez, Peña, & Villamil, (2008) el estudiante debe comprender el conocimiento científico y tecnológico, sin dejar de lado las estructuras teóricas y metodológicas preestablecidas, enfocándose mucho más en los problemas sociales, ideológicos y ambientales que son parte de su propia construcción y desarrollo, buscando que el estudiante construya valores y actitudes hacia la ciencia, para rescatar una concepción más humana en relación con el conocimiento científico, que implica reconocer los grandes alcances y utilidades de la ciencia y la tecnología, sin sesgar las barreras de estas para solucionar los grandes problemas sociales. Martínez, Peña y Villamil (2007) sugieren que una estrategia educativa que ha demostrado motivar a los estudiantes son los casos simulados (CSs), ya que permiten fomentar la confrontación de ideas al abordar controversias que relacionan problemas sociales, ambientales, tecnológicos y científicos de interés mundial, por lo que, se pretende presentar un caso simulado que partirá de una noticia verosímil permitiendo a los profesores en formación explorar como los diversos actores pueden influir en la situación presentada.

Cabe resaltar la importancia de generar ambientes educativos centrados en estrategias de enseñanza que se orienten a comprender la profundidad de las diferentes teorías científicas que validan un tema y por tanto analizar como estas evolucionan a medida que el conocimiento científico también lo hace, es decir, que no solo implica conocer el origen de los conceptos, además es necesario comprender su significado actual y cuales vendrían siendo las diferentes cuestiones pedagógicas y científicas que están asociadas a un concepto en específico (Mora y

Parga, 2005). De esta manera, se justifica la necesidad de situar la enseñanza de las nanopartículas desde el establecimiento de interacciones entre las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la síntesis y aplicación de AgNPs, su impacto social y ambiental, al generar rutas de síntesis sostenibles desde el punto de vista ambiental y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos (Chalopka, 2010).

La síntesis verde que se da a partir de extractos vegetales como *Allium sativum* (ajo) se puede integrar más fácilmente en el aula, ya que es de bajo costo, eco amigable y requiere poco tiempo, esta implica el uso de un enfoque innovador y sostenible que puede promover el interés de los profesores en formación involucrando diferentes enfoques disciplinares como la química, la biología, la ecología y la ingeniería. Al abordar esta temática se fomentará una comprensión integral, el desarrollo de buenas prácticas de laboratorio que sean respetuosas con el medio ambiente y que tengan la capacidad de proponer soluciones innovadoras ante problemáticas sociales, además, en los últimos años se ha potencializado el desarrollo de nanopartículas que son considerados materiales con actividad antimicrobiana suficiente para combatir una gran gama de bacterias, por lo cual se han sintetizado nanopartículas provenientes de metales. Las AgNPs tienen la capacidad de liberar iones Ag^+ , los iones son tóxicos para los microorganismos debido a que causan daño celular, generan estrés oxidativo por la proliferación de ROS (especies reactivas de oxígeno), interfieren en procesos celulares, en si inhibe el crecimiento y lleva a la muerte del microorganismo, pero, hay que considerar que la efectividad de la actividad antimicrobiana de las nanopartículas va ligada con la morfología de la nanopartícula.

Desde esta perspectiva, se plantea una metodología cualitativa que permita interpretar la realidad educativa sin necesidad de basarse en valores numéricos, por lo que se busca analizar el tipo de interacciones CTSA que los profesores en formación plantearon mediante un caso simulado abordando cuestiones científicas, ambientales, tecnológicas y sociales relacionadas con la síntesis, caracterización de AgNPs y sus propiedades como agente antimicrobiano.

2. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Según Mendoza & Rodríguez, (2006) el impacto de la nanotecnología es diverso y de gran alcance y se manifiesta en diferentes aspectos, generando tanto efectos positivos como desafíos significativos en el ámbito social y ambiental.

Por otro lado, según Martínez, Peña & Villamil (2008), se evidencia que estudiantes que inician su educación superior tienen dificultades para establecer interacciones CTSA, ya que les cuesta incorporar los contenidos que estudian con su cotidianidad, en este contexto, Rubiano (2014) señala que, al revisar el plan de estudios del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, se observa la ausencia de espacios académicos relacionados con la nanotecnología, la falta de conocimientos en este ámbito impide que los profesores en formación de Licenciatura en Química participen en discusiones informadas sobre la viabilidad de aplicar esta tecnología y los desafíos que podrían surgir. Esta limitación plantea una barrera significativa para que desarrollen una comprensión que relacione el conocimiento científico con sus aplicaciones en los ámbitos tecnológicos.

La enseñanza de nanopartículas es un campo interdisciplinario que se relaciona estrechamente con el enfoque CTSA, ya que abarca conocimientos de química, física y biología para comprender sus propiedades y síntesis, y depende de avances tecnológicos para su producción y análisis, las nanopartículas, NPs, impactan directamente en la sociedad a través de sus aplicaciones en medicina, agricultura y productos de consumo lo que plantea cuestiones éticas y de seguridad debido a los posibles efectos en la salud humana y el medio ambiente, además, su interacción con el entorno exige evaluar su estabilidad, toxicidad y biodegradabilidad, para entender cómo pueden afectar el medio ambiente, desde este enfoque permite a los profesores en formación reflexionar sobre el rol de la ciencia y la tecnología en su contexto social y ambiental.

En este sentido, al incorporar las interacciones CTSA en su lenguaje tanto oral como escrito, los PFLQ proponen soluciones y analizan los factores que intervienen en problemáticas socioambientales o sociocientíficas, esto implica vincular los contenidos enseñados en el aula con situaciones cotidianas para innovar y ofrecer diversas perspectivas sobre un mismo tema, por lo tanto, es fundamental que los presentes y futuros profesores establezcan estas interacciones CTSA para formar ciudadanos informados y comprometidos con el bienestar común, asumiendo así su responsabilidad social como habitantes del planeta. En este orden de ideas, la pregunta de investigación que orientó este trabajo es:

¿Qué tipo de interacciones CTSA establece un grupo de profesores en formación de la Licenciatura en Química de la UPN al abordar un caso simulado fundamentado en la síntesis verde de AgNPs y su actividad antimicrobiana?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Analizar los tipos de interacciones CTSA que establece un grupo de profesores en formación de la licenciatura en química al abordar un caso simulado fundamentado en la síntesis verde de nanopartículas de plata y su actividad antimicrobiana.

3.2. Objetivos específicos

- Sintetizar nanopartículas de plata empleando una técnica verde a partir de extractos de *Alium sativum* para orientar conceptual y metodológicamente el caso simulado.
- Estructurar un caso simulado fundamentado en la actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata sintetizadas por una técnica verde para el establecimiento de interacciones CTSA.
- Determinar las interacciones CTSA que establecen un grupo de profesores en formación al implementar el caso simulado.

CAPÍTULO II

4. ANTECEDENTES

A continuación, se describen los antecedentes que fueron recolectados a partir de trabajos de investigación y bases bibliográficas, los antecedentes seleccionados proporcionan un sólido fundamento para el desarrollo y la fundamentación de este trabajo, ofreciendo una perspectiva enriquecedora del enfoque CTSA, caso simulado, síntesis verde de nanopartículas plata, y de la actividad antimicrobiana a nivel nacional tanto como internacional.

4.1. Relacionado con el enfoque CTSA.

A nivel internacional Fernandes, Pires, & Villamañán (2014), en su artículo *“Educación Científica con enfoque Ciencia-Tecnología, Sociedad-Ambiente, construcción de un Instrumento de Análisis de las Directrices Curriculares”*. Se aborda el enfoque CTSA en educación, para fomentar una cultura científica en los estudiantes preparándolos para ser ciudadanos activos y conscientes. La enseñanza a partir del enfoque CTSA es una necesidad para establecer conocimientos y actitudes sobre lo que es la ciencia, cómo se construye y cómo funciona, este estudio resalta la necesidad de revisar y rediseñar el currículo de ciencias para implementar una educación contextualizada y que se adecúe tanto a las necesidades como a los intereses de los estudiantes. Para analizar la efectividad del enfoque CTSA, los autores emplearon como instrumento de análisis el estudio del cuestionario Views on Science-Technology-Society y análisis del Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS). A través de estos instrumentos, se llegó a la conclusión que la enseñanza de las ciencia debe incluir la formación personal y social de los estudiantes, al igual que el desarrollo de habilidades y actitudes basados en una educación ciudadana, además, los conocimientos esenciales que abarcan la ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, pueden ser implementados en el aula mediante polémicas y controversias para así despertar un interés en los estudiantes usando estrategias como la argumentación, debates e indagación para que logren reflejar la interacción CTSA.

A nivel nacional Martínez & Rojas (2006) en su artículo *“Estrategia didáctica con enfoque ciencia, tecnología sociedad y ambiente, para la enseñanza de tópicos de bioquímica”* resaltan la relevancia de la aplicación de una estrategia didáctica fundamentada en el enfoque CTSA, con el propósito de enriquecer el aprendizaje de conceptos de bioquímica para la formación de futuros profesores críticos, responsables, capacitados y así enfrentar los desafíos sociales y ambientales que aquejan al país, aportando de manera significativa estudios en el enfoque CTSA aplicados a la enseñanza de las ciencias que han posibilitado la creación de currículos innovadores, la elaboración de materiales didácticos y la mejora de prácticas docentes.

Estos trabajos aportan significativamente a la investigación, ya que permiten analizar la efectividad del enfoque CTSA en la formación de estudiantes capacitados para comprender y participar activamente en debates sobre las interacciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, además, refuerzan el interés por explorar cómo la implementación del enfoque CTSA no solo puede mejorar la comprensión

conceptual de los estudiantes, sino también promover el desarrollo de habilidades críticas y responsables frente a problemas socioambientales, sociocientíficos y tecnocientíficos.

4.2. Relacionado con un caso simulado.

El artículo de Martínez, Peñal y Villamil (2007), titulado "*Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente a partir de casos simulados: una experiencia en la enseñanza de la química*", presenta una metodología pedagógica innovadora basada en casos simulados (CS) para la enseñanza de la química dentro del enfoque CTSA y el propósito central de este enfoque es transformar la enseñanza tradicional al integrar aspectos científicos con problemáticas sociales y ambientales, allí se menciona que el uso de casos simulados permite que los estudiantes enfrenten controversias tecnocientíficas a partir de situaciones ficticias, pero verosímiles, basadas en noticias reales que reflejan problemas actuales, por lo que, los estudiantes deben investigar cómo los diferentes actores sociales (industria, gobierno, ciudadanos, etc.) están involucrados en estas problemáticas, fomentando así el desarrollo de habilidades argumentativas, la toma de decisiones fundamentadas y la comprensión profunda de las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

En esta experiencia, los estudiantes de educación media participan en debates y análisis sobre temas como la contaminación atmosférica, los residuos sólidos y otros problemas ambientales, además, el estudio muestra cómo, a través de esta metodología, los estudiantes logran establecer relaciones más significativas entre los contenidos científicos y los desafíos de su entorno, potenciando su formación como ciudadanos críticos y responsables.

El trabajo de grado de Triana y Barreto (2022) se centra en cómo la técnica didáctica del caso simulado ayudó a docentes en formación a desarrollar habilidades críticas y argumentativas al abordar el proceso de adsorción de amoxicilina sobre carbón activado, un tema relevante tanto desde el punto de vista científico como ambiental, este enfoque promovió el debate sobre problemáticas contemporáneas, rompiendo con la rutina en el aula permitiendo que los futuros docentes lograran integrar conceptos científicos con situaciones reales, potenciando una educación más participativa y centrada en las interacciones CTSA, así, los estudiantes no solo aprendieron aspectos técnicos, sino que también reflexionaron sobre las implicaciones socioambientales de la ciencia.

Este enfoque permitió una conexión más directa entre la teoría científica y las problemáticas del mundo real, favoreciendo el desarrollo de una conciencia crítica en los profesores en formación sobre los desafíos socioambientales actuales, además los debates fomentados mediante esta estrategia didáctica no solo incrementaron las habilidades comunicativas de los estudiantes, sino que también les proporcionaron herramientas para enfrentar desafíos educativos centrados en la sostenibilidad y el impacto de la ciencia en la sociedad.

Estos proyectos aportan a la investigación, demostrando que el uso de los CS dinamiza la enseñanza al involucrar temas sociocientíficos y ambientales, fomentando una mayor comprensión de las interacciones CTSA en los futuros profesores, esta estrategia no solo enriquece el aprendizaje, sino que también prepara a los profesores para enfrentar los desafíos del mundo.

4.3. Relacionado con la síntesis verde de NPs

A nivel internacional Pilaquinga, Pazmiño, Robalino, Jara, López, Meneses, & Debut, (2019) en su artículo *“síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo (*Allium sativum*)”*, se destaca que realizaron un estudio donde se comparó el tamaño de las AgNPs usando el extracto acuoso de hojas de ajo por dos diferentes métodos, que fue calentamiento por placa y el otro por microondas. Además, dichas nanopartículas se caracterizaron por medio de espectrofotometría UV-Vis y microscopia de transmisión electrónica donde se encontraron nanopartículas con un tamaño promedio de $15,4 \pm 7,9$ nm y $9,9 \pm 10,5$ nm utilizando los dos métodos respectivamente. De acuerdo con el análisis estadístico, evidenciaron diferencias significativas en el tamaño de estas, por lo que concluyeron que el extracto acuoso de hojas de ajo es un agente reductor efectivo para la síntesis de AgNPs y que la técnica de microondas destaca por su rapidez, al sintetizarse nanopartículas de menor tamaño.

A nivel internacional Sánchez, Molina, Aguilar, Chantong, & Barcia, (2021) en su artículo *“Síntesis verde de AgNPs utilizando ajo (*Allium Sativum*) explorando su actividad antimicrobial y catalíticas”*, se destaca los métodos innovadores en nanotecnología, incluida la síntesis verde respetuosa con el medio ambiente a partir de extractos de plantas, ofrece una alternativa sostenible a los procesos tradicionales de producción de nanopartículas, químicamente intensivos, analiza los mecanismos biológicos que utilizan las plantas para reducir los iones metálicos a nanopartículas, detallando cómo esta técnica minimiza el impacto ambiental al

tiempo que logra avances en medicina, ciencias ambientales e ingeniería de materiales.

Estas investigaciones contribuyen significativamente en la importancia de conocer técnicas y procesos para sintetizar (haciendo uso de un agente reductor como la alicina y compuestos fenólicos provenientes de las hojas de ajo) y caracterizar las AgNPs, donde concluyen que el agente reductor usado es adecuado para la formación de AgNPs, además es amigable con el medio ambiente a la hora de sintetizarlas, por otro lado, que las técnicas usadas son eficaces para caracterizarlas y sintetizarlas.

4.4. Relacionado con la actividad antimicrobiana

A nivel internacional Noriega, González, Pacheco, Sánchez, Jasso & Ruiz, (2012) en su proyecto de investigación denominado “*Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas*” mencionan que las NPs metálicas tienen la capacidad de desinfectar y purificar el agua debido a su efecto biocida mediante membranas compósitas. En este estudio se resalta que la nanotecnología se encuentra a la vanguardia de la innovación, es decir, esta ciencia procura proponer soluciones para mitigar problemas ambientales y sociales. En este estudio se evalúa la efectividad antibacteriana de las NPs metálicas empleando el uso de concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) y bactericidas, por lo que sintetizaron 5 diferentes tipos de partículas de procedencia metálica que fueron caracterizadas mediante técnicas como microscopia electrónica de transmisión, difracción de rayos X por doble longitud de onda y espectroscopia UV, por otro lado, se prepararon dos matrices de agua con diferentes composiciones de compuestos inorgánicos. Los resultados obtenidos arrojaron que las mejores nanopartículas fueron de plata de tipo A con un tamaño de 14 nm, que presenta una CMI de 13.37 µg/mL para *E. coli* y 40.13 µg/mL para *E. faecalis*, y las AgNPs de tipo E de tamaño 3 nm, con una CMI de 6.68 µg/ml para *E. coli* y 13.37 µg/mL para *E. faecalis*. Finalmente concluyeron que la actividad antibacteriana de las NPs es mayor para bacterias Gramnegativas y que entre menor sea el tamaño de las NPs, mayor es su actividad antibacteriana.

A nivel internacional Moreno, Yanchanpanta, Alvarez & Dávalos, (2022) en su artículo de investigación “*Síntesis verde de nanopartículas de plata como agente bactericida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico*”, resalta que las aguas residuales representan un riesgo significativo para la salud pública debido a la presencia de microorganismos, por la cual se realiza la evaluación de la

actividad bactericida de las AgNPs para poder dar una posible solución para mitigar los riesgos por medio de la síntesis verde utilizando como agente reductor la (uchuva) *Physalis Peruviana*, representando una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Se emplearon diversas técnicas para caracterizar las NPs que se obtuvieron, como Espectrofotometría de UV-vis, Microscopía electrónica de barrido y Espectrofotometría de rayos X de energía dispersa y de acuerdo con los datos obtenidos a partir de las técnicas se determinó la presencia de plata en mayor porcentaje en NPs con un tamaño entre 7 a 30 nm. Los resultados de la investigación demostraron la eficacia de las AgNPs sintetizadas en la eliminación de una variedad de microorganismos patógenos, incluyendo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, entre otras siendo una alternativa efectiva para tratar aguas biológicamente contaminadas, contribuyendo así a la protección de la salud pública y el mantenimiento de la calidad del agua.

Estas investigaciones son pertinentes, ya que presentan la importancia de la aplicación de nanotecnología (AgNPs) en diferentes campos como agente antibacteriano, en específico para la etapa de desinfección de aguas como problema ambiental, por tanto, los proyectos concluyen que las AgNPs son efectivas para atacar bacterias Gramnegativas.

5. MARCO DE REFERENCIA

A continuación, se presenta el marco de referencia que expone los fundamentos conceptuales en los que se sustenta esta investigación, este marco incluye conceptos como el caso simulado, las interacciones CTSA, nanotecnología, el uso de extractos vegetales como agentes reductores, síntesis, caracterización, propiedades de las AgNPs, y la bacteria *Escherichia Coli* como organismo inhibido en esta investigación.

5.1. Caso simulado

Para el desarrollo de la base teórica de este proyecto desde el enfoque CTSA, se utilizó la técnica didáctica del caso simulado, una herramienta que articula controversias de interés social y ambiental para analizar desarrollos tecnocientíficos (Osorio M. & Martín G., 2003), este método se entiende como una técnica educativa que implica un procedimiento estructurado y orientado a obtener un resultado específico: el desarrollo de interacciones CTSA en los profesores en formación a través de pasos definidos. La técnica del estudio de caso simulado, junto con actividades y enfoques complementarios, se convierte en una estrategia clave para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación.

Un caso simulado permite a los profesores enfrentar situaciones y escenarios del mundo real diseñados para representar problemáticas que podrían abordar en sus futuras profesiones. Según Martínez, Villamil y Peña (2008), los CSs efectivos se basan en una noticia auténtica que genera controversia, motivando a los profesores a investigar y asumiendo el rol de actores sociales para enriquecer el análisis desde distintas perspectivas y necesidades.

El propósito de esta estrategia es promover disposiciones y actitudes positivas en los estudiantes hacia la ciencia y la tecnología en contextos sociales diversos, y fortalecer el establecimiento de interacciones basadas en el enfoque CTSA, asegurando que las discusiones y análisis se alineen con los fenómenos en cuestión.

Para implementar un caso simulado en un entorno educativo, Martínez, Villamil y Peña (2008) recomiendan:

- Seleccionar una noticia verosímil que trate un problema socioambiental relevante para los estudiantes, basada en una revisión exhaustiva de fuentes para garantizar un conocimiento profundo y su tratamiento pedagógico.
- Definir los contenidos educativos relacionados con el problema seleccionado.
- Diagnosticar las ideas e interacciones previas de los estudiantes en torno al problema y los contenidos educativos.
- Analizar y categorizar las percepciones de los estudiantes sobre las interacciones CTSA.
- Presentar la noticia objeto de discusión, identificar juntamente con los estudiantes los actores sociales involucrados en la controversia y definir la conformación de equipos de trabajo para representar a dichos actores, estos grupos deberán sumergirse en un proceso de consulta de diversos materiales para construir argumentos sólidos con orientación del profesor en la selección de datos significativos relevantes.

Esta estrategia busca que los PFLQ desarrollen la capacidad de promover interacciones equilibradas en el marco CTSA, de este modo, los profesores pueden alcanzar una comprensión profunda de los fenómenos abordados, considerando sus implicaciones sociales y ambientales.

5.2. Enfoque CTSA.

Martínez y Rojas, (2006), mencionan que el enfoque CTSA es una promesa para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, en la medida en que puede favorecer las integraciones actitudinales, axiológicas, cognitivas de los estudiantes y fortalecer un trabajo interdisciplinario. Además, según Acevedo, (1996) el enfoque CTSA es una propuesta educativa innovadora diseñada para proporcionar formación en conocimientos y en valores que impulsen la participación ciudadana en la evaluación y supervisión de las repercusiones sociales y ambientales. Este enfoque se enmarca en un campo académico que se dedica a examinar e investigar la ciencia y la tecnología, con el objetivo de comprenderlas mejor desde el marco social. En este sentido Salazar y Garizado, (2018) mencionan que es importante dirigir esfuerzos hacia la formación de ciudadanos críticos bien informados, capaces de tomar decisiones fundamentales acerca de problemas actuales y así poder actuar de acuerdo con las mismas.

De acuerdo con Suta (2021) los estudiantes deben valorar la importancia de la ciencia y la tecnología aplicadas de manera ética y responsable, estando motivados en ser partícipes de estrategias que promuevan la preservación de la vida en nuestro planeta, también se espera que contribuyan con ideas creativas para abordar problemas ambientales causados, en gran medida, por acciones humanas, como el cambio climático, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad, estos desafíos resaltan la necesidad de desarrollar tecnologías que minimicen los impactos negativos en el medio ambiente, priorizando su uso sobre aquellas que generan un significativo daño ambiental.

El papel del profesor en ciencias es fundamental, por lo que se espera que desarrollen estrategias didácticas y pedagógicas, alternativas basadas en las preferencias y necesidades de los estudiantes, que implican transmitir información y crear un ambiente de aprendizaje creativo al abordar controversias en el aula, fomentando el debate y la reflexión crítica entre estudiantes, y no solo cuestionando conceptos científicos, más bien fomentando el desarrollo de habilidades para la formación de ciudadanos informados, además como mencionan Martínez & Parga, (2013) es importante que los profesores en ciencias estén actualizados en cuanto a los avances científicos y tecnológicos como también enfatizar en la necesidad de que desarrollen habilidades de comunicación efectiva y empatía para conectar con sus estudiantes, esta conexión humana es fundamental para motivar el aprendizaje, cultivar un ambiente de confianza y respeto mutuo en el aula.

El enfoque CTSA proporciona un marco integral que permite comprender y enseñar las interacciones complejas entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, de este modo, el docente en formación debe reconocer que el conocimiento científico y tecnológico va más allá de la lógica interna de sus teorías y métodos; también debe abordar los problemas sociales, ideológicos y ambientales implicados en su construcción y desarrollo, la integración de disciplinas como la tecnología y los medios sociales y ambientales promueve la participación activa de la comunidad educativa, facilitando la apropiación de conocimientos y comportamientos que impacten positivamente en el medio ambiente. Así, la enseñanza basada en el enfoque CTSA no solo enriquece el aprendizaje de la ciencia, sino que también contribuye a formar ciudadanos para enfrentar problemas socioambientales de manera ética y consciente.

Dado que el enfoque CTSA enfatiza una educación orientada a la ciudadanía, por lo tanto, se considera que la enseñanza de las ciencias debe adoptar una perspectiva crítica que se refleje en la reflexión, mejora o transformación de las prácticas docentes, para que la enseñanza de las ciencias contribuya a la formación ciudadana, es esencial la participación activa de los estudiantes, quienes son el núcleo de este proceso.

5.3. Interacciones CTSA

Según Ibarra (2024) las interacciones CTSA son un puente entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente que abarcan un campo interdisciplinario que estudia las interacciones complejas entre los cuatro pilares fundamentales, así que busca comprender cómo la ciencia y la tecnología impactan en la sociedad y el ambiente, también cómo influyen en el desarrollo científico y tecnológico, donde no solo es una interacción unidireccional, sino de un entramado dinámico y coevolutivo.

En este trabajo se proponen cuatro categorías para ayudar a comprender las interacciones que emplean durante la realización del proyecto: Ciencia-Tecnología, Tecnología-Sociedad, Sociedad-Ambiente y Ambiente-Ciencia.

Las interacciones entre Ciencia y Tecnología (C-T) son importantes para el avance del conocimiento y el desarrollo de nuevas herramientas y métodos, es por ello, que la ciencia proporciona los principios básicos y las teorías que permiten la creación de nuevas tecnologías, mientras que la tecnología ofrece a la ciencia instrumentos avanzados para realizar investigaciones más precisas y detalladas. Ribelles, Solbes y Vilches (2010) destacan que la integración de estas interacciones en la enseñanza

de las ciencias puede enriquecer la comprensión de los estudiantes sobre cómo la ciencia impulsa la innovación tecnológica y cómo, a su vez, la tecnología puede abrir nuevas fronteras para la investigación científica.

La interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S) es crucial para entender cómo los avances tecnológicos influyen en la vida cotidiana y en la estructura social, por otro lado, la tecnología no solo facilita nuestras actividades diarias, sino que también transforma la manera en que nos comunicamos, trabajamos y nos relacionamos. Martínez y Pérez (2012) subraya en su análisis sobre la formación ciudadana y el aprendizaje de las ciencias que es esencial educar a los ciudadanos sobre el impacto de la tecnología en la sociedad para fomentar un uso responsable y ético de las innovaciones tecnológicas.

La interacción entre Sociedad y Ambiente (S-A) subraya la importancia de considerar el impacto ambiental de las actividades humanas. La sociedad debe ser consciente de cómo sus acciones afectan el entorno natural y debe promover prácticas sostenibles para preservar el planeta para las presentes y futuras generaciones. Vilches (2015) menciona en su estudio sobre la alfabetización científica que es vital inculcar un pensamiento crítico y sostenible en los ciudadanos para que puedan tomar decisiones informadas y responsables respecto al medio ambiente.

La interacción entre Ambiente y Ciencia (A-C) constituye un ciclo fundamental para impulsar el conocimiento y la acción hacia un desarrollo sostenible, el estudio profundo del entorno natural, a través de la investigación científica que actúa como fuente de inspiración para el surgimiento de nuevas interrogantes, metodologías y soluciones innovadoras que buscan abordar los desafíos ambientales de la actualidad, PNUMA (2019). La ciencia, a su vez, se enriquece con el vasto conocimiento acumulado, permitiendo el desarrollo de teorías y modelos que explican los complejos fenómenos naturales, esta interacción bidireccional cierra el ciclo, fortaleciendo tanto el conocimiento científico como la responsabilidad social, además, las soluciones científicas derivadas de la investigación ambiental permiten mitigar los problemas ecológicos y promover prácticas sostenibles, beneficiando directamente al medio ambiente, UNESCO (2017).

En conjunto, las interacciones CTSA representan un marco importante para entender la interdependencia de estos campos y su relevancia en el contexto actual, ya que, al explorar las interacciones entre C-T, T-S, S-A y A-C pueden generar conocimientos que favorecen el desarrollo de una ciudadanía crítica, informada y

comprometida con el progreso científico, la innovación tecnológica, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, por lo que, este enfoque integrador no solo permite analizar el impacto de las actividades humanas en el entorno, sino que también promueve el uso responsable y ético de los recursos y los avances fortaleciendo así el rol de la educación en la construcción de un presente y futuro más equilibrado y sostenible para todos.

5.4. Nanotecnología

Según Bermúdez & Villamil (2021) la nanotecnología se define como el campo de conocimiento que abarca el conjunto de saberes y métodos destinados a manipular la materia, incluyendo átomos, iones y moléculas, a una escala de nanómetros, donde las propiedades magnéticas están fuertemente influenciadas por los efectos de superficie y el tamaño finito. Esta, trabaja principalmente con materiales que están estructurados en escalas nanométricas o también llamados nanoestructuras, los cuales constituyen unidades básicas como clústeres, nanopartículas, nanotubos y nanofibras, que se originan a partir de átomos, iones y moléculas. La manipulación de estos elementos fundamentales da lugar a la creación de materiales y dispositivos nanoestructurados, que constituye el objetivo principal de la nanotecnología. Ahora, los materiales producidos mediante nanotecnología presentan una mayor calidad y menos cantidad de defectos, sus propiedades son similares, ya que mantienen las mismas medidas de división, longitud y diámetro, aunque de una manera diferente a la manipulación de materiales a gran escala. Quintili (2012) menciona que la innovadora metodología industrial, capaz de fabricar los nuevos productos que se introducen en el mercado bajo la denominación de nanotecnológicos ha generado en todo el mundo alrededor de 450 productos que circulan a diario de manera inadvertida por los consumidores.

5.5. Nanomateriales y nanopartículas

Los nanomateriales según Berlanga, (2013) son materiales cuyas propiedades morfológicas son más pequeñas a un micrómetro al menos en una de sus dimensiones, hasta ahora, no existe un conceso del tamaño mínimo que debe tener un nanomaterial, las propiedades dependerán del comportamiento que exhiban con los electrones o de la organización de los átomos en la materia.

De acuerdo con Science (1991) las propiedades que más se destacan en los nanomateriales son mecánicas, magnéticas, electrónicas, ópticas y catalíticas, etc. Permitiendo que estas NPs puedan ser aplicadas en diferentes industrias. Específicamente en la industria de tratamientos de aguas debido a su capacidad

para actuar como agente antimicrobiano eficaz, que está relacionado con el tamaño de la nanopartícula, es decir, cuanto más pequeña sea, mayor será su efectividad.

La EPA (agencia de medio ambiente de Estados Unidos) ha categorizado los nanomateriales en cuatro categorías según su composición principal:

1. Basados en carbono: Formas elipsoidales o esféricas (fullerenos y nanotubos).
2. Basados en metales: Abarcan puntos cuánticos, nanopartículas de oro, plata y óxidos metálicos.
3. Dendrímeros: Polímeros de tamaño nanométrico que se constituyen a partir de uniones ramificadas.
4. Combinación de nanopartículas con materiales de mayor tamaño: Arcilla a nanoescala.

De acuerdo con la figura 1, las NPs pertenecen a la estructura de cero dimensional de nanomateriales y a la categoría de nanomateriales basadas en metales. Las nanopartículas son definidas por Quintili (2012) como una diminuta pieza de materia, que está compuesta de un elemento en particular o un compuesto de elementos, lo más común es que midan menos de 100 nanómetros de diámetro, estas NPs deben tener dimensiones externas en la escala nanométrica o contar con una estructura interna o superficial a escala nanométrica. El termino de “nano escala” hace referencia al rango de tamaños que va desde aproximadamente 1 nm a 100 nm, así mismo las AgNPs se pueden definir como aglomerados mayores a 200 átomos que se encuentran dentro de la nano escala, Comisión Europea (2011).

Por tanto, estos se diferencian en que la nanopartícula viene siendo partículas de una o más dimensiones del orden de 100 nm o menos que pertenecen a una subclase de los nanomateriales, ahora bien, los nanomateriales son un material con una o más dimensiones externas o una estructura interna a nanoescala, igualmente lo diferencia por la gran variedad de formas y estructuras desde partículas y fibras hasta estructuras más complejas como nanotubos y películas delgadas.

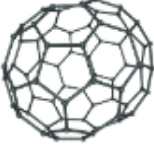
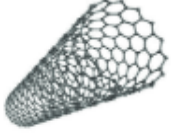
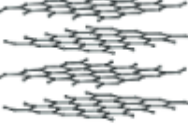
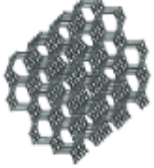
Estructura	Nanomateriales
Cero dimensional (0D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
Uni dimensional (1D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
Bi-dimensional (2D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Monocapas - Nanorrecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
Tri-dimensional (3D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores

Figura 1. Clasificación según sus dimensiones. Tomada de Gómez M. (2018). Pág 3

5.5.1. Propiedades de AgNPs

Propiedades de alta eficiencia óptica, actividad catalítica y acción antimicrobiana, tienen aplicaciones, que dependen de su tamaño, forma, composición, cristalinidad, estructura de la partícula y estabilidad, estas aplicaciones abarcan diferentes ámbitos tecnocientíficos como la tecnología biológica, ingeniería biomédica, medicina, tecnología textil, tratamiento de aguas y productos a base de plata para el consumo, por otro lado, tienen un efecto bactericida, bacteriostático, fungicida y antibacteriano, el tamaño y la morfología son un aspecto esencial para esta última y se plantea que esta acción aumenta cuanto menor sea el tamaño de las nanopartículas, Esquivel & Mas (2021).

5.5.2. Síntesis de AgNPs

Los métodos de preparación de NPs metálicas son dos, Gómez (2013) describe Top-Down basado en métodos físicos que reducen el tamaño de agregación del material hasta un tamaño nanométrico (<100 nm) con un consumo notable de

energía y Botton-Up métodos químicos son procesos de formación de partículas a partir de una solución, a partir de una dispersión molecular se obtiene un estado de agregación nanométrico que permite el control de parámetros como tamaño y forma de la nanopartícula formada, que es contrario a Top-Down.

Actualmente, el método más ampliamente usado es Botton-Up que es la formación de disoluciones coloidales de acuerdo con Monge (2009), los iones de plata presentes en la solución se reducen gradualmente para formar las AgNPs este proceso consta de dos etapas: nucleación que necesita una alta energía de activación y crecimiento que necesita baja energía de activación, en la figura 2 se muestra un esquema del método Botton-Up con sus respectivas etapas.

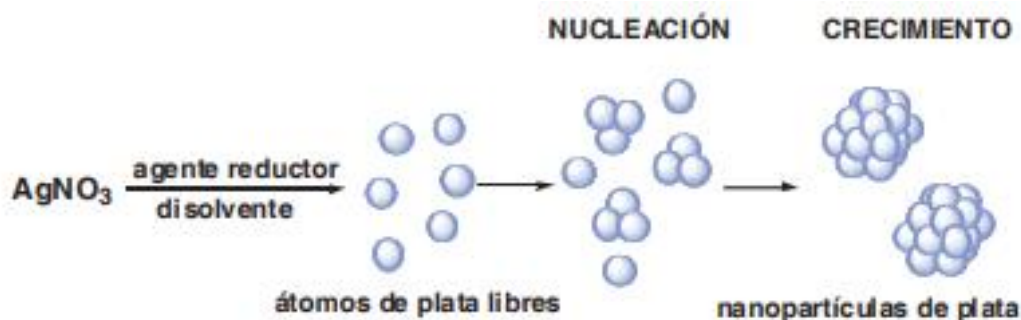


Figura 2. Mecanismo de formación de AgNPs a partir de la reducción química en disolución de la sal AgNO_3 . Tomada de Monge, M. (2009) pág 34.

El método coloidal es eficiente en la producción de nanopartículas, de acuerdo con Schmid (2004) este consiste en disolver una sal del precursor metálico, un agente reductor y estabilizante que puede ser opcional. La morfología de las NPs es controlada por la concentración de los reactivos empleados, como del agente reductor y estabilizante, el rango de tamaño de partículas resultantes suele oscilar en nanómetros, como producto se obtienen suspensiones coloidales. Gómez (2018) menciona que la síntesis verde se basa en la reducción de metales mediante la implementación de extractos vegetales que se emplearán como agentes reductores según las propiedades que contengan, con el tiempo se ha comprobado que varios sistemas biológicos pueden reemplazar los agentes químicos reductores.

Los microorganismos cuentan con la característica de transformar iones inorgánicos metálicos a nanopartículas de metal según las propiedades reductoras, de los metabolitos y proteínas que lo conforman, este proceso de síntesis puede ocurrir a nivel intra o extracelular. Actualmente, se han desarrollado estrategias que involucran plantas para la síntesis de NPs, principalmente las que más se usan son dos: la primera es extraer nanopartículas del material seco de las plantas, como

semillas, hojas o cáscaras, como se presenta en figura 3 y la segunda sintetizar directamente las partículas usando extracto acuoso de las plantas con ingredientes activos.

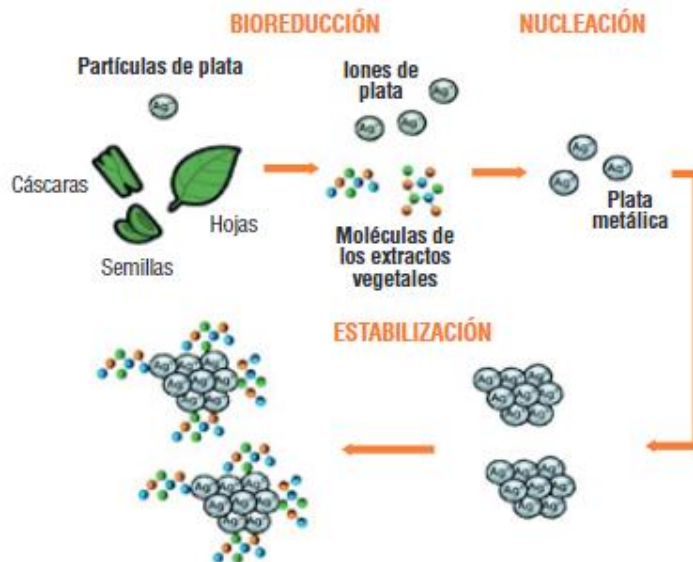


Figura 3. Síntesis verde de AgNPs. Tomada de Gómez (2018) pág 4.

5.5.3. Caracterización de las AgNPs

Se utilizan varias técnicas instrumentales tal cual como menciona Morales (2017) Espectroscopía de absorción de luz Ultravioleta-Visible (UV-Vis), Microscopía electrónica de transmisión y de barrido (TEM, SEM), Microscopía de fuerza atómica (AFM), Difusión de luz dinámica (DLS), Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS), Difracción de rayos X (XRD), Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), Resonancia magnética nuclear (RMN), también siendo posible por la espectroscopía de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) y espectroscopía de absorción atómica (FAAS) de la cual se logra obtener información específica de ciertos parámetros como composición, estructura, topología, morfología, cristalinidad y tamaño del poro.

La técnica que se empleó en esta investigación es espectroscopia de absorción UV-Vis para identificar la banda de las NPs metálicas, esto debido a que la longitud de onda de la banda y el ancho genera una huella espectral según sea el metal y variará de acuerdo con el tamaño y la forma de la nanopartícula, Serra, Filippo, Palmisano, Vittori, Buccolieri, & Manno (2009). Según Morales, Morán, Quintana, & Estrada, (2009) las bandas de absorción en el espectro alrededor de longitudes de

onda de 390 a 450 nm indica la presencia de NPs metálicas, estas bandas se deben a la absorción por resonancia de los plasmones superficiales.

La caracterización de las AgNPs mediante espectroscopía de absorción UV-Vis permite identificar su presencia a través de una huella espectral distintiva, la cual varía según el tamaño y la forma de las NPs, esta técnica analítica es importante, ya que las bandas de absorción en el espectro confirman la presencia de nanopartículas metálicas a partir de la resonancia de plasmones superficiales. De esta manera, el análisis espectroscópico no solo facilita la comprensión de las propiedades ópticas y estructurales de las AgNPs, sino que también impulsa su aplicación en la nanociencia y la ingeniería de materiales.

5.6. Extracto vegetal (*Allium sativum*)

Allium sativum más conocido como ajo, es una especie que pertenece a la familia de las cebollas *Alliaceae*, es una especie herbácea con un tallo floral que puede llegar a crecer hasta unos 3 pies. Desde tiempos atrás se ha estudiado esta especie, ya que presenta propiedades antioxidantes, diuréticas, laxantes, anticancerígena, antimicrobiana, antifúngica, antiviral, y antiprotozoaria, cabe resaltar la aplicación que esta tiene a la hora de tratar enfermedades causadas por agentes patógenos, Meriga (2012); Harris (2001).

El ajo contiene aproximadamente 33 compuestos entre los cuales están azufre, enzimas y minerales de germanio, calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, selenio, y zinc, vitaminas A, B1 y C, fibra y agua, cuenta con 17 aminoácidos que son: isoleucina, leucina, triptófano, lisina, histidina, arginina, ácido aspártico, treonina, glutamina, prolina, alanina, glicina, valina, cisteína, isoleucina, metionina y fenilalanina, (Josling, 2005).

En cuanto, a la actividad antibacteriana se ha demostrado que el ajo es eficaz para atacar bacterias acidorresistentes, grampositivas y gramnegativas como, las *Pseudomonas*, *Proteus*, *Staphylococcus aureus* (Cavallito & Bailey, 1994), *Escherichia coli* y *Salmonella* (Vaughn & Johnson, 1960), *Klebsiella* (Jezowa, 1966), *Micrococcus*, *Bacillus subtilis* (Sharma, 1977), *Clostridium* (De Witt, 1979), *Mycobacterium* (Delaha & Garagusi, 1985) y *Helicobacter* (O'Gara, 2000), por lo que, se ha podido evidenciar que el ajo realiza una inhibición entre las enterobacterias y la microflora intestinal Rees, (1993), sin embargo, se pudo evidenciar que en la *E. coli* la inhibición es 10 veces mayor a la observada en *Lactobacillus* con la misma dosis de ajo (Skyrme, 1997).

De acuerdo con lo anterior, la capacidad antioxidante del ajo se debe a la potencia de sus compuestos o componentes activos para combatir los radicales libres, estos componentes refuerzan el sistema de captación de radicales endógenos, aumentan la actividad de enzimas antioxidantes celulares como el superóxido dismutasa, la catalasa y el glutatión peroxidasa, y protegen las lipoproteínas de baja densidad contra la oxidación inducida por los radicales libres (López, 2007). Esta propiedad antioxidante se manifiesta únicamente cuando el ajo ha pasado por un proceso de triturado, lo que permite que el trisulfuro de dialilo y el ajoeno exhiban propiedades antifúngicas al inhibir la biosíntesis de fosfatidilcolina, lo que conduce a la muerte celular (Harris, 2001). El ajo ha demostrado inhibir varias cepas fúngicas, incluyendo *Aspergillus luchuensis*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium oxalicum*, *Rhizopus stolonifer*, *Mucor spp* y *Scopulariopsis sp* (Kumar y Jain, 2010).

5.7. Escherichia Coli.

Escherichia coli es una de las especies bacterianas más ampliamente estudiadas, no solo por su capacidad patogénica, sino también por su uso como modelo en investigaciones metabólicas, genéticas y poblacionales, entre otras áreas. Pertenece a la familia *Enterobacteriaceae* y coloniza el tracto gastrointestinal en las primeras horas de vida del recién nacido, estableciendo una relación simbiótica y beneficiosa con el huésped.

Esta bacteria, al igual que otras del género *Escherichia* y géneros relacionados como *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, y *Serratia*, comparte la capacidad de fermentar la lactosa en un máximo de 48 horas, generando ácido y gas. Aunque *E. coli* forma parte de la flora intestinal habitual, puede causar infecciones endógenas en personas con debilidad o cuando la pared intestinal está comprometida, como en casos de peritonitis o sepsis. Sin embargo, las infecciones entéricas que provoca no son causadas por las cepas comunes en el intestino, sino por cepas patógenas específicas, que se transmiten de persona a persona o mediante el agua y los alimentos contaminados, (Deschamps & Camacho, 2013).

Según la OMS (2018), los síntomas de la infección causada por *Escherichia coli* productora de toxina Shiga incluyen calambres abdominales, diarrea que en algunos casos puede evolucionar a diarrea sanguinolenta (colitis hemorrágica), fiebre y vómitos. El periodo de incubación de la enfermedad oscila entre tres y ocho días. Aunque la mayoría de los pacientes se recuperan en un plazo de diez días, existe un pequeño porcentaje, especialmente entre niños pequeños y ancianos, que

puede sufrir complicaciones graves. Entre estas complicaciones destaca el síndrome hemolítico urémico (SHU), una condición que puede ser potencialmente mortal y que se caracteriza por insuficiencia renal aguda, anemia hemolítica y trombocitopenia (bajo recuento de plaquetas). Este síndrome es la principal causa de insuficiencia renal aguda en niños pequeños, y se estima que aproximadamente el 10% de los pacientes con infección por *E. Coli* productora de toxina Shiga desarrollan SHU, con una tasa de mortalidad que varía entre el 3% y el 5%.

CAPÍTULO III

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. Tipo y enfoque metodológico

En este segmento se describe el diseño metodológico que permite dar respuesta al problema de investigación planteado, por ende, el enfoque de esta investigación es cualitativo caracterizado por una metodología y epistemología holística, lo que significa, que las observaciones se enfocan en considerar realidades que conviven en el aula como un todo y se contextualizan los datos recopilados, de igual manera se centra en interpretar la realidad educativa sin depender de datos numéricos, sino en la comprensión de fenómenos y superar las dificultades presentadas en el desarrollo de la toma de decisiones y solución de problemas (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 7).

El paradigma de esta investigación es interpretativo, porque se pretende comprender e interpretar el fenómeno que se desea estudiar y Krause (1995) define el paradigma interpretativo como una metodología donde el investigador debería poder interpretar los datos y participar del tema con cercanía, esto es más allá de la tarea del investigador científico.

6.2. Participantes de la investigación

Este trabajo se diseñó para un grupo de veinte (20) profesores en formación de la Universidad Pedagógica Nacional, inscritos en el espacio académico Métodos de análisis químico I correspondiente al semestre 2024-2, quienes se encontraban en el ciclo de profundización del plan de estudios de la Licenciatura en Química. Por otro lado, los participantes diligenciaron previamente un consentimiento informado,

en el cual se especificaba que la información recolectada sería utilizada exclusivamente con fines académicos.

6.3. Fases de la investigación e instrumentos

El presente proyecto de grado se desarrolló en tres fases secuenciales: contextualización, diseño y evaluación, como se representa en el diagrama de la figura 4, que permitieron alcanzar los objetivos propuestos.

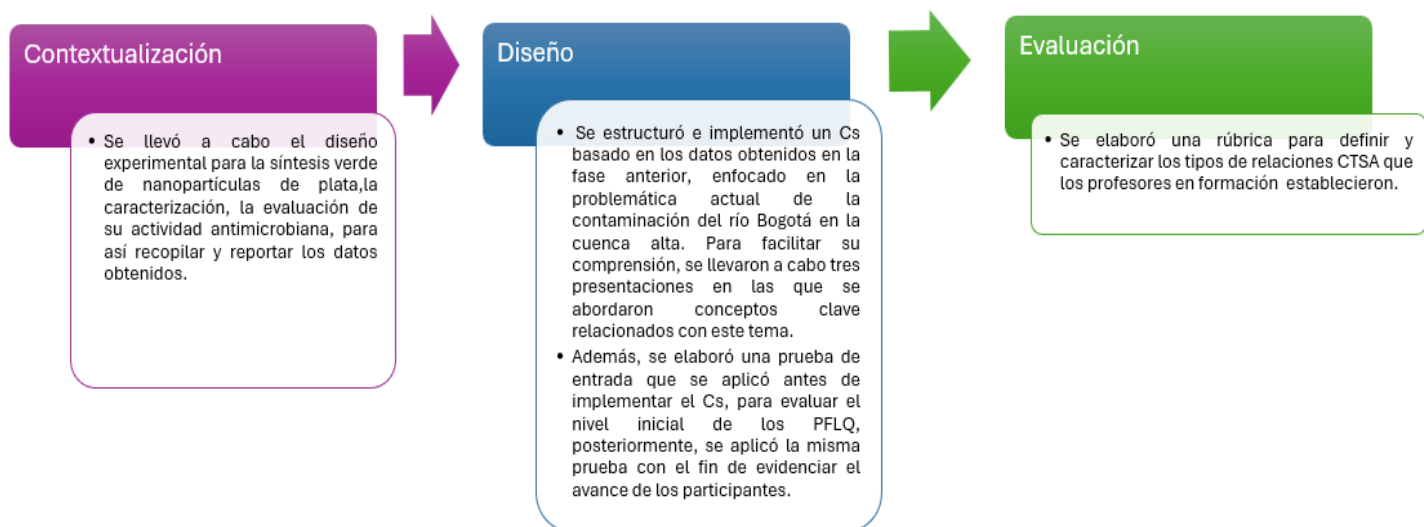


Figura 4. Resumen de fases. Fuente: Elaboración propia.

6.3.1. Fase de contextualización

En esta fase se planteó el problema, justificación, objetivos, marco referencial del proyecto de investigación, el cual se sustentó a partir de una revisión bibliográfica de diferentes bases de datos, como: Scielo, Google académico, Scopus, revistas de ciencia e investigación y repositorios de la Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Nacional, entre otras internacionales.

En esta fase también se definieron los diseños experimentales para la síntesis de AgNPs, la caracterización y la prueba microbiológica, se seleccionaron una serie de redes conceptuales y técnicas de caracterización que se abordaron en el caso simulado y se integraron con las áreas temáticas del espacio académico de Métodos de Análisis Químico I. En esta fase, en correspondencia con el primer objetivo específico, se realizó la síntesis verde de AgNPs utilizando hojas de *Allium sativum* mediante disoluciones coloidales y la técnica tipo Bottom-Up, empleando nitrato de plata (AgNO_3) como precursor metálico y extracto de hojas de *Allium sativum* como

agente reductor, este proceso permitió la reducción de iones de plata para obtener las NPs, posteriormente, se evaluó la actividad antimicrobiana de las AgNPs en un cultivo de la bacteria *Escherichia coli*.

6.3.1.1. Preparación de extracto de ajo:

Se utilizaron los bulbillos de la planta de ajo (*Allium sativum*) para obtener un extracto natural que facilita el proceso de reducción del nitrato de plata y la formación de NPs, sin generar contaminantes tóxicos secundarios. Los extractos de esta planta contienen compuestos organosulfurados, como la alicina, el disulfuro de dialilo y el trisulfuro de dialilo, que le confieren propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Chambi, Mamani, Cáceres, & Mamani, 2023).

La extracción del solvente natural se hizo de la siguiente manera:

- Se recolectó ajo criollo.
- Se seleccionaron los bulbillos y se lavaron cuidadosamente para desinfectarlos.
- Se pesaron aproximadamente 30 gramos de bulbillos en un vaso de precipitados de 100 mL.
- Se agregó 100 mL de agua destilada al vaso de precipitado.
- Se trituró la mezcla utilizando un procesador de alimentos o una licuadora durante aproximadamente 3 minutos.
- Se transfirió la solución resultante a un vaso de precipitados de 150 mL.
- Se llevó el vaso a la estufa con pinzas y se calentó hasta alcanzar una temperatura de 60 °C a 70 °C.
- Se mantuvo la temperatura durante 10 minutos.
- Se filtró la solución utilizando una bomba de vacío para obtener el extracto final. Se dejó reposar el extracto a temperatura ambiente y se almacenó en recipientes de vidrio previamente lavados con agua destilada.

6.3.1.2. Síntesis verde de AgNPs

La síntesis AgNPs se llevó a cabo mediante la reducción de nitrato de plata (AgNO_3) utilizando un extracto de dientes de ajo como agente reductor, evitando así el uso de solventes que pudieran generar productos contaminantes indeseables (Cardeño & Londoño, 2014).

Inicialmente, se preparó una solución de AgNO_3 a 0.001 M; para ello, se pesaron 0.017 gramos de la sal y se disolvieron en 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitados de 100 mL. La mezcla se agitó para asegurar una disolución

homogénea antes de transferirla a la bureta, conforme al montaje presentado en la figura 5.



Figura 5. Montaje para la síntesis de NPs. Fuente: Elaboración propia.

Paralelamente, se tomaron 10 mL del extracto de bulbillos de ajo y se colocaron en un balón de tres bocas. La reacción se llevó a cabo a una temperatura de 60 °C a 70 °C, agitando constante la mezcla durante 45 minutos, durante este tiempo, se observó un cambio en el color de la solución, pasando de transparente a un tono marrón-amarillo, lo cual indicó la formación de AgNPs, finalmente, se dejaron reposar las NPs durante 24 horas para proceder con la caracterización.

6.3.1.3. Caracterización de AgNPs mediante Espectroscopia UV-Vis

Para caracterizar las NPs sintetizadas se usó un espectrofotómetro UV-1800, donde la radiación UV- visible provoca una excitación de los electrones de orbitales de más baja energía a orbitales de más alta energía, esta técnica nos permite determinar la longitud de onda característica del plasmón superficial de las AgNPs, el cual refleja la longitud de onda que hace que la nube de electrones que se encuentra alrededor de las nanopartículas metálicas se polarice por efecto de la luz incidente, por lo que se espera que para las AgNPs, éste plasmón esté en el rango de 390 a 450 nm, (Deschamps & Camacho, 2013).

Una vez realizada la síntesis se procede a caracterizar, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- La solución de AgNPs sintetizada debe ser transferida a tubos adecuados para la centrifuga.
- Colocar los tubos en la centrifuga y ajustar la velocidad a 3500 revoluciones por minuto (rpm), durante un tiempo total de 30 minutos.
- Después de la centrifugación, cuidadosamente se procede a descartar el sobrenadante, que es la parte líquida que queda en la parte superior.
- Lavar el precipitado, que son las NPs concentradas en el fondo del tubo, usando agua destilada para eliminar impurezas.
- Realizar tres lavados con agua destilada, repitiendo el proceso de centrifugación entre cada uno para garantizar la limpieza adecuada de las NPs.
- Transferir el precipitado a un crisol y colocarlo en una estufa a 60°C durante 45 minutos para secar la muestra.
- Después del secado, se coloca el precipitado en un vaso de precipitados de 50 mL y se adicionan 4 mL de agua destilada.
- Colocar el vaso de precipitados en un baño de ultrasonido durante 20 segundos para dispersar adecuadamente las NPs.
- Ir al espectrofotómetro para medir la absorbancia de la muestra en el rango de longitudes de onda de 190 a 900 nanómetros.
- Registrar la longitud de onda en la que se obtiene el pico máximo de absorbancia, ya que es un parámetro importante en la caracterización de las NPs.

6.3.1.4. Filtro de celulosa modificado por hidrólisis alcalina

La filtración mediante membranas es un proceso purificación y recuperación de AgNPs, que son reconocidas por sus propiedades antimicrobianas, este método permite la separación efectiva de las AgNPs de contaminantes o productos secundarios no deseados, asegurando su pureza y calidad. A través de la filtración, se pueden obtener soluciones de NPs altamente concentradas y uniformes, lo que es fundamental para su aplicación en diversas áreas, como el tratamiento de aguas contaminadas y en la industria farmacéutica (Nowack & Bucheli, 2007; Rai et al., 2009).

Se hizo de la siguiente manera:

- Pesar 2 gramos de NaOH.
- Disolver el NaOH en 500 mL de agua destilada.
- Mezclar con agitador de vidrio hasta homogenizar.
- Sumergir el papel filtro en la solución NaOH.
- Mantener la solución durante 2 horas a temperatura ambiente.

- Retirar cuidadosamente el papel filtro de la solución de NaOH.
- Enjuagar varias veces el papel filtro con abundante agua.
- Secar el papel filtro a temperatura ambiente en una estufa a 45 °C.
- Verificar si la superficie es la adecuada para soportar las AgNPs.
- Añadir el filtro a la síntesis de NPs previamente preparada.

6.3.1.5. Actividad antimicrobiana de las AgNPs con la bacteria *Escherichia Coli*.

Se seleccionó una cepa de *Escherichia coli* para llevar a cabo estudios analíticos con el fin de evaluar su actividad antimicrobiana, así como el crecimiento y la inhibición bacteriana. Posteriormente, se investigó el efecto de las AgNPs sobre el cultivo bacteriano. Se llevó a cabo la prueba de susceptibilidad siguiendo el protocolo del método de difusión por disco descrito en el estudio de Bauer-Kirby, que menciona Herrera, ML, 1999.

Se utilizó una cepa de *E. coli* proporcionada por el Laboratorio de Microbiología de la Universidad ECCI. Los filtros de celulosa, modificados por hidrólisis y sumergidos en AgNPs, se esterilizaron en autoclave durante 75 minutos a 120 °C. Posteriormente, la bacteria fue esparcida en las cajas de Petri utilizando hisopos estériles, se recortaron los filtros en discos pequeños y se colocaron en las mismas cajas, finalmente, las cajas se incubaron a 37 °C para realizar la medición a las 48 horas.

6.3.2. Fase de diseño e instrumentos

Para el desarrollo del trabajo de investigación y el diseño de instrumentos, se seleccionó el espacio académico de Métodos de Análisis I en función del programa analítico, el cual se alinea al Área Temática V, que abarca la precipitación y la formación de complejos, este espacio académico resulta pertinente para el estudio de la síntesis de AgNPs que se generan mediante reacciones de precipitación controladas, en dicho proceso se deben regular factores como el pH, la concentración de reactivos y el producto de solubilidad para obtener NPs estables con óptimas propiedades antimicrobianas y la formación de complejos debido a la capacidad de los iones de plata para interactuar con diversos ligandos y agentes reductores, lo que estabiliza las NPs y previene su aglomeración.

6.3.2.1. Diseño de caso simulado

Se realizó la sistematización y el análisis de los resultados del diseño experimental, el cual incluyó la síntesis de AgNPs mediante el método de disoluciones coloidales,

su caracterización a través de espectroscopia UV-Vis y una prueba microbiológica, además a partir de la problemática seleccionada y de los datos obtenidos en el diseño experimental se construyó un esquema conceptual, como se muestra en la figura 6, que articula el diseño experimental con el caso simulado, esta red evidencia cómo los resultados cuantitativos y el marco conceptual desarrollado en el diseño experimental fueron relevantes para la elaboración del caso simulado.

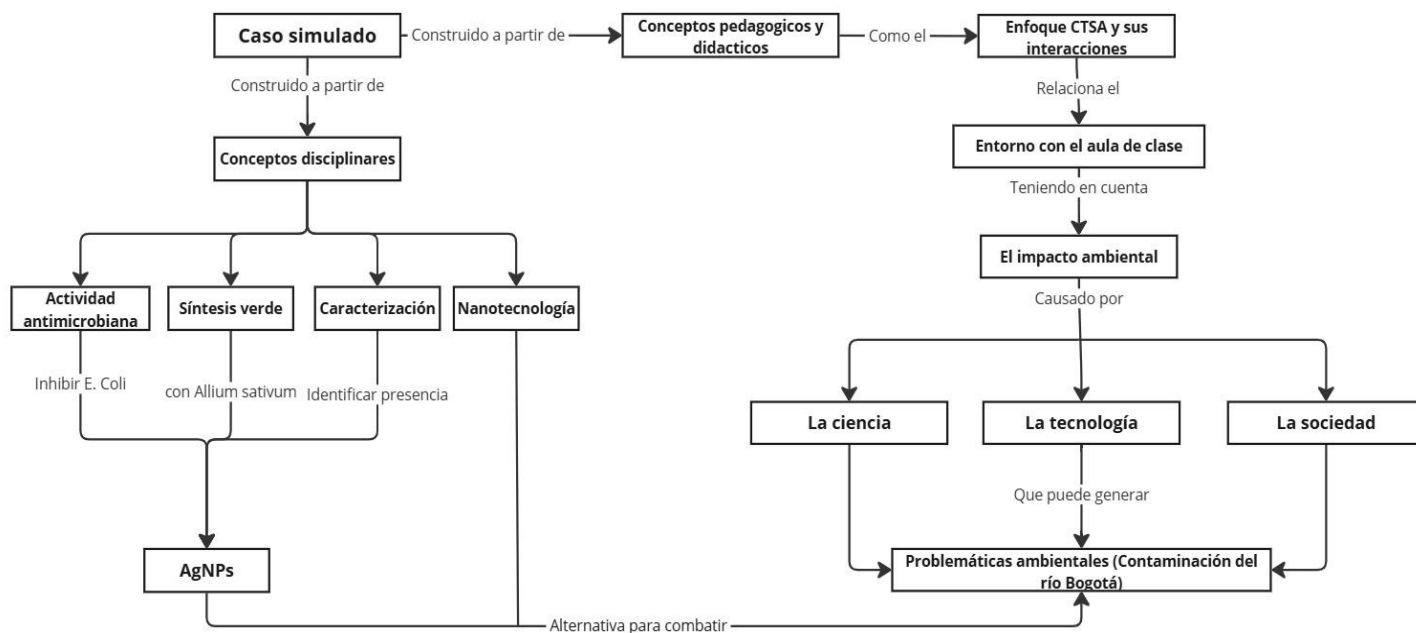


Figura 6. Esquema conceptual sobre la relación entre el diseño del caso simulado y el diseño experimental. Tomada y adaptada Barreto & Triana (2022)

El caso simulado presentado (Anexo 1) aborda una problemática relevante, enfocándose en una posible solución innovadora para la contaminación hídrica en el municipio de Tocancipá, ubicado en la cuenca alta del río Bogotá, esta solución implica el uso de AgNPs sintetizadas a través de un método verde que emplea extracto de ajo como agente reductor, con el objetivo de inhibir bacterias como *Escherichia coli*. Para respaldar esta propuesta, se presentan datos experimentales obtenidos en el diseño experimental, que incluye la síntesis verde, la caracterización mediante espectroscopía UV-Vis en un equipo Shimadzu modelo 1800 realizada en los laboratorios de química de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN), así como las pruebas de sensibilidad antimicrobiana llevadas a cabo en la Escuela Colombiana de Carreras Intermedias (ECCI), estos datos aportan una base científica sólida proveniente del campo de la nanotecnología al caso simulado.

Por último, para recopilar diversas opiniones, perspectivas y generar controversias al comparar las respuestas entre distintos roles, se plantearon las siguientes preguntas orientadoras presentadas en la tabla 1:

Tabla 1. Preguntas del CS con su respectiva de intención.

	Pregunta	Interacción	Intención
1	¿De qué manera los avances científicos en nanotecnología pueden aportar a la solución de la situación ambiental de la calidad de agua por proliferación de bacterias en la cuenca alta del río Bogotá, en particular el sector que colinda con el municipio de Tocancipá?	A-C	La pregunta busca indagar sobre el potencial de la nanotecnología para intervenir en el control y la mitigación de la proliferación de bacterias en el agua, contribuyendo a la recuperación de la calidad de los ecosistemas acuáticos locales, protegiendo la biodiversidad y la salud humana.
2	¿Cómo influye el desarrollo tecnocientífico en la percepción y las acciones de la sociedad ante el caso de Tocancipá?	T-S	La pregunta pretende analizar de qué manera las innovaciones tecnológicas y los conocimientos científicos disponibles moldean la percepción pública sobre el estado ambiental en Tocancipá para motivar o limitar las acciones colectivas para enfrentar la situación.
3	¿Cómo ha afectado la contaminación del agua en el municipio de Tocancipá, la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, especialmente de los grupos más vulnerables?	S-A	La pregunta busca explorar la interconexión entre factores sociales y ambientales, centrándose en cómo la contaminación del agua no solo impacta el medio ambiente, sino también las condiciones de vida de la población, promoviendo políticas equitativas y sostenibles que beneficien a todos los habitantes de Tocancipá.
4	¿Qué desafíos se generan a partir del desarrollo científico y tecnológico de nanomateriales para mitigar los efectos a corto, mediano y largo plazo de la situación descrita en el municipio Tocancipá?	C-T	La pregunta considera los aspectos éticos y sociales, incluyendo el acceso equitativo a estas tecnologías y sus implicaciones para la población, explorando los riesgos y beneficios del uso de nanomateriales, considerando sus impactos en diferentes periodos de tal manera que se pueda entender cómo estos

			avances pueden crear desafíos, como la necesidad de protocolos de seguridad y normativas para garantizar un uso responsable.
--	--	--	--

Nota. Elaboración propia.

El caso simulado construido para este trabajo de grado se aplicó de acuerdo con los criterios presentados en la tabla 2:

Tabla 2. Aplicación del caso simulado sobre AgNPs.

Objetivo	Evaluación	Duración
Analizar cómo un grupo de profesores en formación integra aspectos científicos y tecnológicos en un contexto social y ambiental al abordar un caso simulado basado en la síntesis verde de AgNPs y su actividad antimicrobiana.	A través de la rúbrica de evaluación (tabla 5) y las categorías CTSA (figura 6) desarrollada por las autoras.	Sesión de 120 minutos

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Además, se establecieron roles específicos para enriquecer el análisis, cada uno directamente relacionado con Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente.

1. Comité científico
2. Investigadores
3. Habitantes afectados del municipio de Tocancipá
4. Gobierno local
5. Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR)

Los roles fueron asignados de manera aleatoria a grupos de tres participantes, lo que les permitió asumir posturas tanto a favor como en contra de la implementación de NPs. Para estructurar de manera adecuada el debate, se establecieron cuatro preguntas orientadoras que los participantes debieron preparar previamente, además, un material audio visual, con el fin de construir los discursos correspondientes a los roles asignados, estas preguntas no solo guiaron el desarrollo de los argumentos, sino que también fomentaron la reflexión sobre las interacciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, las cuales estaban implícitas en cada una de ellas, asegurando que los participantes abordaran el tema de manera crítica.

6.3.2.2. Diseño de prueba de entrada y salida

Se elaboró un cuestionario que consta de cinco preguntas (Anexo 2), las cuatro primeras integran de manera implícita las interacciones que se evaluaron (figura 7), mientras que la última se centra en la evaluación de conocimientos teóricos sobre

la caracterización de NPs, cada pregunta va acompañada de un breve contexto teórico sobre los conceptos de nanotecnología, con el fin de orientar a los PFLQ.



Figura 7. Categorías de interacciones CTSA. Nota. Tomada y adaptada Barreto & Triana (2022).

En la tabla 3 se presentan las preguntas junto con la intención, cada pregunta ha sido formulada considerando la interacción dentro de las categorías CTSA establecidas por las autoras en la Figura 7.

Tabla 3. Preguntas de la prueba de entrada con su respectiva de intención.

	Pregunta	Interacción	Intención de la pregunta
1	¿Cómo la capacidad de manipular la materia a escala atómica, como caso de la nanotecnología, está transformando nuestra vida cotidiana y abriendo nuevas posibilidades en campos como la medicina, la microbiología y la electrónica?	Tecnología - Sociedad	La pregunta busca evaluar la capacidad que tiene el PFLQ para relacionar la tecnología (nanotecnología) con la sociedad, específicamente en los ámbitos de la medicina, microbiología y electrónica, por tanto, se espera que el participante demuestre una comprensión de cómo la manipulación de la materia a escala atómica impacta directamente en nuestra vida cotidiana y en diversos sectores.
2	¿Qué desafíos científicos y	Ciencia- Tecnología	La pregunta busca evaluar la capacidad del PFLQ para

	tecnológicos aún deben superarse para que la síntesis verde de NPs se convierta en la metodología estándar en la industria nanotecnológica?		relacionar la ciencia con la tecnología en cuanto el impacto ambiental y económico, por lo que se espera que el participante identifique los obstáculos que impiden una adopción más amplia de métodos de síntesis verde.
3	La síntesis verde de NPs se presenta como una alternativa más amigable con el medio ambiente. Compare y contraste los métodos convencionales y verdes para la producción de AgNPs, considerando criterios como la toxicidad de los reactivos y la generación de residuos.	Ambiente- Ciencia	La pregunta busca evaluar el conocimiento del PFLQ no solo en relación con la síntesis de NPs y las posibles consecuencias de cada tipo de síntesis, sino que se busca que los participantes demuestren una conciencia ambiental, analizando los impactos ecológicos y sociales de las diferentes técnicas de síntesis de NPs, considerando soluciones sostenibles que minimicen los riesgos asociados al uso de estas tecnologías.
4	¿Cuáles serían los impactos sociales y ambientales de utilizar NPs como agentes antimicrobianos para mitigar la presencia de bacterias como <i>E. coli</i> en cuerpos de agua, y cómo podría influir esta tecnología en la salud pública y en la gestión de recursos hídricos?	Sociedad - Ambiente	La pregunta busca evaluar la comprensión de los impactos sociales y ambientales derivados del uso de AgNPs para mitigar la presencia de bacterias como <i>E. coli</i> en cuerpos de agua, por tanto, se espera que los participantes analicen la viabilidad de integrar estas nanopartículas en los sistemas de tratamiento de agua, considerando tanto su eficacia como la prevención de posibles efectos adversos sobre el entorno y la sociedad.

5	¿Cómo se relaciona la tonalidad y el factor de forma de las AgNPs con su pico de absorción en el espectro UV-Vis?	No aplica	Se esperaría que los participantes comprendan la relación entre la tonalidad y el factor de forma de las AgNPs y cómo estos aspectos influyen en su comportamiento óptico, específicamente en el espectro de absorción UV-Vis.
---	---	-----------	--

Nota. Elaboración propia.

Este cuestionario se aplicó tanto como prueba de entrada como de salida, con el propósito de constatar el avance de cada participante mediante la comparación del análisis de ambas pruebas, es importante destacar que la prueba de entrada se basa exclusivamente en los conocimientos previos, mientras que en la prueba de salida los participantes ya contaban con argumentos más elaborados sobre el tema, para ello las autoras les facilitaron una secuencia de tres presentaciones (tabla 4) que abordaron los conceptos clave de este proyecto de investigación y la aplicación del caso simulado.

Tabla 4. Presentación de conceptos clave.

Sesión 1	Historia de la nanotecnología y generalidades de las NPs
Sesión 2	Síntesis y Caracterización de NPs
Sesión 3	Agente reductor (<i>Allium Sativum</i>), Alicina, Actividad antimicrobiana, <i>Escherichia Coli.</i> y contaminación de aguas.

Nota. Elaboración propia.

6.3.3. Fase de evaluación

En el marco de esta investigación, se elaboró una rúbrica específica (tabla 5) diseñada para evaluar los conocimientos y las interacciones CTSA, fue implementada para analizar diversos instrumentos a lo largo del estudio, tales como el caso simulado y las pruebas de entrada y salida, lo que facilitó la recopilación y el análisis de los resultados obtenidos a partir de los discursos y argumentos presentados por los participantes.

De este modo, se permitió evaluar la capacidad de los participantes para formular discursos coherentes y fundamentados, clasificándolos en tres niveles de evaluación: ingenuo, plausible y adecuado, según la solidez y coherencia de sus argumentaciones en torno a las interacciones CTSA, según Acevedo, Mannassero y Vázquez (2005) interacciones se definen como:

- En el nivel ingenuo: Los participantes reconocen algunos términos claves como nanotecnología o nanopartículas, pero no los integra de manera coherente en un contexto más amplio y no se evidencia una interacción entre CTSA ya que tienden a caracterizar cada uno de estos elementos independientemente, es decir, la respuesta expresa no estar en un punto de vista adecuado ni plausible.
- En el nivel plausible: Los participantes muestran una comprensión más amplia de los conceptos, aplicándolos de manera razonable a situaciones prácticas o teóricas, aunque aún con ciertas limitaciones en su análisis, por lo que, en este nivel son capaces de identificar interacciones CTSA, es decir, se evidencian algunos aspectos aceptables en la respuesta, pero no es totalmente adecuada.
- En el nivel adecuado: Los participantes integran de manera crítica y reflexiva los conceptos, evaluando con claridad y estructura los impactos sociales, tecnológicos y ambientales. En este nivel se evidencia una capacidad para analizar exhaustivamente las interacciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, argumentando de manera persuasiva y mostrando una conciencia crítica sobre las implicaciones de estas interrelaciones, es decir, la respuesta refleja un punto de vista apropiado con la pregunta planteada.

Tabla 5. Rúbrica de interacciones CTSA y dominio de conceptos.

Rúbrica CTSA			
ASPECTO/CRITERIO	INGENUO	PLAUSIBLE	ADECUADO
Dominio de los Conceptos	Reconoce los términos clave (nanotecnología, síntesis verde, nanopartículas, espectroscopia UV-Vis) pero no logra explicar cómo estas se relacionan.	Expresa un entendimiento general de los temas, identificando conexiones entre nanotecnología, síntesis verde, actividad antimicrobiana y métodos de caracterización como la espectroscopia UV, sin embargo, su explicación es limitada, y no profundiza en cómo estas áreas se integran para desarrollar aplicaciones innovadoras, ni en los beneficios específicos que ofrecen.	Integra todos los temas, explicando claramente cómo la nanotecnología, las nanopartículas y la síntesis verde se combinan para crear soluciones innovadoras como la actividad antimicrobiana, y cómo los métodos de caracterización son fundamentales para evaluar y optimizar estas aplicaciones.
Relación Ciencia y Tecnología (C-T)	Identifica tecnologías innovadoras, pero no las relaciona con la ciencia, asumiendo que operan de manera independiente, no menciona cómo la ciencia es fundamental para desarrollar y adaptar tecnologías como la nanotecnología, especialmente en el contexto de las nanopartículas.	Comprende los principios científicos que sustentan la síntesis de nanopartículas, pero no explora a fondo cómo estos principios se traducen en aplicaciones tecnológicas concretas, su análisis presenta una dirección única, sin establecer una relación bidireccional entre la ciencia y la tecnología.	Determina cómo los avances en nanotecnología, particularmente en la síntesis y caracterización de nanopartículas, se traducen en soluciones innovadoras y sostenibles para abordar desafíos reales, aprovechando al máximo las propiedades únicas de estas nanopartículas.
Relación Tecnología y Sociedad (T-S)	Distingue que las nanopartículas tienen aplicaciones tecnológicas, pero no profundiza en su impacto potencial en la sociedad, especialmente en el ámbito de la salud pública y el medio ambiente, además no se evidencia una visión amplia sobre cómo las tecnologías pueden mejorar la calidad de vida.	Explica cuáles son las aplicaciones significativas de las nanopartículas de plata y su impacto potencial en la sociedad, sin embargo, no aborda de manera completa las implicaciones éticas ni la importancia de un uso responsable de esta tecnología.	Evalúa críticamente el potencial transformador de la nanotecnología en el tratamiento de aguas, destacando cómo las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas pueden revolucionar la gestión de recursos hídricos, además, también reconoce los desafíos asociados con la implementación de estas tecnologías a gran escala y la importancia de una evaluación rigurosa de sus impactos ambientales y sociales.
Relación Sociedad y Ambiente (S-A)	Describe que las nanopartículas tienen una gran variedad de aplicaciones, pero no logra identificar claramente cómo su uso puede contribuir a mejorar el ambiente de manera sostenible y no considera el potencial de estas tecnologías para favorecer prácticas ambientales responsables.	Propone que el uso de nanopartículas puede tener un impacto significativo en el medio ambiente, sin embargo, su análisis no profundiza en las prácticas sostenibles necesarias para mitigar posibles efectos negativos, ni en las implicaciones a largo plazo de esta tecnología en la sociedad.	Argumenta de manera persuasiva el potencial socioambiental de las nanopartículas metálicas sintetizadas por métodos verdes, evaluando su viabilidad para abordar los desafíos de la contaminación hídrica y mejorar la salud pública, propone un enfoque innovador y participativo que involucra a la ciudadanía en la co-creación de soluciones sostenibles basadas en nanopartículas, destaca la importancia de los métodos de síntesis verdes y la sinergia con compuestos naturales como el ajo para mejorar su eficacia y reducir su impacto ambiental.
Relación Ambiente y Ciencia (A-C)	Indica que la investigación científica puede abordar problemas ambientales, pero no logra articular cómo la síntesis de nanopartículas y el uso de estas pueden ser una solución que impulse nuevos conocimientos científicos.	Interpreta como la investigación ambiental puede inspirar nuevas tecnologías, como la síntesis verde de nanopartículas de plata, sin embargo, no profundiza en cómo esta relación bidireccional puede fortalecer tanto el conocimiento científico como la acción hacia un desarrollo sostenible.	Analiza en profundidad cómo la investigación científica en el campo ambiental ha impulsado el desarrollo de tecnologías innovadoras y sostenibles, como la síntesis verde de nanopartículas de plata donde se usa el ajo como agente reductor natural mitigando la dependencia de productos químicos sintéticos.

Nota. Elaboración propia.

6.4. Validación de instrumentos

Para validar los instrumentos, se diseñó una rúbrica (tabla 6) que permitió realizar una evaluación integral a los instrumentos asociados con el proyecto de grado, la evaluación se estructuró conforme a la descripción de cada indicador, con el propósito de asegurar una revisión detallada de cada aspecto.

Se empleó una escala de evaluación con tres niveles: (1) Ingenuo, (3) Plausible y (5) Adecuado, donde el valor 5 reflejaba un cumplimiento total del indicador, mientras que el valor 1 indicaba una ausencia de cumplimiento. Además, fue necesario justificar cada valor otorgado, proporcionando así una evaluación cualitativa exhaustiva que permitió comprender mejor los resultados de la evaluación.

Tabla 6. Rúbrica de validación de instrumentos.

Instrumento	Categorías	Nivel de cumplimiento		
		Ingenuo (1)	Plausible (3)	Adecuado (5)
Caso simulado	Contextualización	El caso no es relevante, y la información no es coherente con la problemática, no se vinculan adecuadamente los conceptos científicos ni se promueve la reflexión alguna sobre las implicaciones sociales o ambientales.	El caso es apropiado y vincula de manera aceptable los conceptos científicos con la problemática, aunque algunos puntos carecen de claridad o detalle de igual manera la reflexión sobre las implicaciones es superficial.	El caso presenta una situación muy realista y relevante a nivel local, con información coherente y fundamentada, se vinculan de forma clara, precisa y concisa los conceptos científicos con la problemática ambiental, de igual manera el caso fomenta una reflexión profunda sobre las implicaciones sociales, económicas y ambientales del uso de las nanopartículas de plata.
	Estructura	El caso es simple y no presenta un análisis multidisciplinario, las preguntas son cerradas, directas, y no estimulan el pensamiento reflexivo ni la búsqueda de soluciones innovadoras.	El caso presenta una problemática de cierta complejidad, pero no se profundiza suficientemente en su carácter multidisciplinario, las preguntas son útiles, pero algunas son más cerradas y no promueven mucho la innovación para proponer posibles soluciones.	El caso presenta una problemática compleja y bien estructurada que requiere un análisis multidisciplinario profundo, las preguntas son abiertas, precisas y fomentan el pensamiento reflexivo, invitando a la búsqueda de soluciones innovadoras.
	Contenido	La información es contradictoria o contiene errores significativos, de igual manera los datos experimentales no respaldan las conclusiones y no se identifican claramente los actores involucrados ni sus roles en la solución del problema.	La información es generalmente coherente, pero presenta algunas inconsistencias o falta de claridad, los datos experimentales respaldan las conclusiones de forma básica, se identifican los actores, pero no todos los roles están claramente definidos.	La información presentada es completamente coherente, lógica y sin errores, los datos experimentales y resultados respaldan de manera sólida las conclusiones, se identifican claramente todos los actores involucrados (científicos, gobierno, comunidad, etc.), y se explican de manera precisa sus roles en la solución del problema.
	Relaciones CTSA	El caso no promueve la reflexión sobre las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, no se identifican claramente los actores ni sus roles, no fomenta el desarrollo de habilidades de pensamiento reflexivo, resolución de problemas ni comunicación.	El caso invita a reflexionar sobre las interconexiones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, pero podría profundizar más en el análisis de las implicaciones de estas relaciones, aunque se identifican los actores involucrados, se podría explorar un mayor rango de perspectivas y enfoques.	El caso fomenta una reflexión profunda sobre las interacciones entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el medio ambiente, los actores involucrados (científicos, gobiernos, comunidades, etc.) están claramente identificados, y sus roles en la resolución del problema están bien definidos, además, el caso promueve el desarrollo de habilidades clave, como la responsabilidad social, la resolución de problemas y la comunicación efectiva.
Prueba de entrada	Claridad y Precisión	Las preguntas son confusas y ambiguas, lo que impide que los estudiantes comprendan claramente lo que se les está pidiendo, el lenguaje es inadecuado o demasiado complejo para el nivel académico, dificultando la correcta interpretación.	Las preguntas son generalmente comprensibles, pero algunas presentan ligeras ambigüedades o podrían ser más precisas, el lenguaje es en su mayoría adecuado, aunque puede resultar un poco elevado o confuso en ciertos casos.	Las preguntas son totalmente claras y precisas, sin ambigüedades, el lenguaje utilizado es accesible y completamente adecuado para el nivel académico de los estudiantes, las preguntas facilitan la comprensión y promueven respuestas precisas.
	Relaciones CTSA	El contenido de las preguntas no está vinculado con las interacciones entre CTSA, las preguntas no abordan de manera significativa los temas centrales que reflejan estas interacciones.	El contenido de las preguntas está parcialmente relacionado con las dimensiones CTSA, pero de forma superficial, solo ciertos temas abordan las conexiones con los aspectos clave de CTSA.	Las preguntas están perfectamente alineadas con los temas del CTSA, explorando a profundidad las interconexiones.
	Contenido y coherencia	Las preguntas carecen de conexión con los conceptos principales, lo que dificulta la comprensión global de la prueba, existen saltos temáticos que interrumpen la fluidez y afectan la coherencia.	Algunas preguntas parecen desconectadas, lo que impacta negativamente en la coherencia general de la prueba, algunas secuencias o ideas no siguen un orden lógico.	Presenta una estructura claramente coherente, donde cada pregunta fluye de manera lógica hacia la siguiente, facilitando un entendimiento continuo y progresivo de los conceptos clave.
	Estructura	La estructura es confusa, lo que complica la comprensión general por parte de los estudiantes, esta falta de claridad en la organización y en la presentación de los contenidos puede llevar a que los estudiantes se sientan desorientados, dificultando su capacidad para responder adecuadamente.	La estructura de la prueba es aceptable, pero hay varios puntos en los que resulta difícil de seguir, en ciertas secciones, la organización de las preguntas carece de una secuencia lógica clara, lo que puede causar confusión entre los estudiantes.	Presenta una estructura lógica y bien organizada, lo que facilita considerablemente la comprensión por parte de los estudiantes, los temas se introducen de manera clara y secuencial, permitiendo un seguimiento fluido del desarrollo de la prueba, cada sección está estructurada de forma coherente, conectando ideas y conceptos de manera que puedan relacionarlos entre sí sin dificultad.

Nota. Elaboración propia.

6.4.1. Caso simulado

Esta validación fue realizada mediante la rúbrica teniendo en cuenta las siguientes categorías:

- Contextualización: Cómo se presenta y enmarca la situación problemática del caso simulado, considerando varios aspectos, uno de ellos es la relevancia del contexto, es decir, si la situación planteada es relevante y significativa dentro del ámbito de estudio, de igual manera, se examina la conexión entre el contexto y la problemática, asegurando que existe una relación clara y lógica entre el entorno y el problema que se pretende abordar también se evalúa la complejidad y realismo del caso, donde la situación debe ser lo suficientemente compleja para estimular la reflexión crítica, pero también realista, permitiendo que los participantes se sientan inmersos y capaces de analizar y abordar el problema de manera efectiva.
- Estructura: Organización el contenido y qué tan bien se presenta la problemática central, donde se considera si el caso tiene una secuencia lógica que permita a los estudiantes comprender el contexto y los elementos clave de la situación presentada.
- Contenido: La calidad, coherencia y relevancia de la información presentada, se analiza si los datos proporcionados son precisos, completos y no contienen errores o contradicciones, el contenido debe ser claro y ajustado a la problemática central, permitiendo que los PFLQ cuenten con la información para comprender el caso y tomar decisiones informadas, también se valora si la información está alineada con los objetivos del caso, es decir, si los hechos y detalles presentados son relevantes para el análisis que se pretende.
- Interacciones CTSA: Invita a reflexionar sobre el impacto que la ciencia y la tecnología tienen en la sociedad y el ambiente, considerando tanto las consecuencias positivas como las negativas, de igual manera se valora si se fomenta una reflexión crítica sobre los efectos a largo plazo de las tecnologías y cómo el uso responsable del conocimiento científico puede contribuir a la sostenibilidad y el bienestar social.

6.4.2. Prueba de entrada y salida

Esta validación fue realizada mediante la rúbrica teniendo en cuenta las siguientes categorías:

- Claridad y precisión: Las preguntas estén formuladas de manera comprensible, sin ambigüedades ni confusiones, se evalúa si el lenguaje utilizado es claro, directo y adecuado para el nivel de los participantes, evitando tecnicismos innecesarios o frases que puedan generar múltiples interpretaciones, de igual manera se examina si las preguntas son precisas en cuanto a lo que solicitan, es decir, si están enfocadas de manera específica en los conocimientos o habilidades que se desean evaluar, garantizando que los estudiantes puedan responder con certeza y exactitud.
- Contenido y coherencia: Analizar la relevancia y pertinencia de las preguntas en relación con los objetivos de aprendizaje establecidos, se evalúa si el contenido es adecuado y está alineado con los conocimientos y habilidades que se pretende evaluar, asegurando que cada pregunta contribuya a una comprensión del tema, además, se examina la coherencia del contenido, es decir, si las preguntas se presentan de manera lógica y fluida, permitiendo a los participantes establecer conexiones entre diferentes conceptos.
- Estructura: Organización y secuenciación de las preguntas para garantizar una progresión lógica que facilite la comprensión por parte de los participantes, se evalúa si la prueba está diseñada de manera que las preguntas fluyan de forma coherente, comenzando con conceptos básicos y avanzando hacia temas más complejos, también se examina la claridad en la presentación de las preguntas, asegurando que sean fáciles de seguir y que cada sección esté claramente delimitada.

CAPÍTULO IV

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la implementación de las diversas fases metodológicas descritas en el capítulo anterior. Estos resultados han sido organizados de manera coherente con los objetivos establecidos al inicio de la investigación, lo que permite un análisis claro y estructurado, en esta sección, se incluye un análisis preliminar de los datos experimentales generados en el laboratorio, junto con los resultados obtenidos de la prueba de entrada-salida y del caso simulado.

7.1. Análisis de resultados del diseño experimental

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la realización del trabajo experimental con los cuales se pudo caracterizar las AgNPs sintetizadas y determinar su actividad antimicrobiana.

7.1.1. Síntesis verde de AgNPs

Después de realizar la extracción del solvente natural a partir de los dientes de ajo (*Allium Sativum*), este se usó para sintetizar las AgNPs, siguiendo el procedimiento descrito en la fase de contextualización que hace parte de la metodología, con lo cual se obtuvo una suspensión de AgNPs en agua destilada a una concentración de 0,0005 M. Durante la síntesis de las NPs se observó un cambio de color de transparente a marrón-amarillo (figura 8), siendo efectiva la formación de AgNPs, según lo reportado por Morales, J., Morán, J., Quintana, M., & Estrada, W. (2009).



Figura 8. Formación de color de AgNPs. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Caracterización de AgNPs

Luego de finalizar el proceso de síntesis, la mezcla se llevó a la centrifuga a 3500 rpm por 30 min realizando un lavado con agua destilada 3 veces, con el fin de precipitar las NPs y separarlas del medio de reacción y finalmente se realizó la lectura en el espectrofotómetro Shimadzu UV-1800.

En la figura 9 se presenta el gráfico del espectro de extinción de las AgNPs, en este gráfico, se puede observar una banda de absorción que indica la longitud de onda de máxima absorbancia aproximadamente a 398 nm, lo que corresponde a la Resonancia del Plasmón Localizado de Superficie (RPLS), este fenómeno ocurre cuando una determinada energía de luz es absorbida y dispersada, lo que provoca que la nube electrónica de las NPs entre en resonancia, generando una

perturbación en las absorbancias, esto indica que el tamaño de las NPs está estrechamente relacionado con la modificación en la atenuación de la luz en función de la longitud de onda.

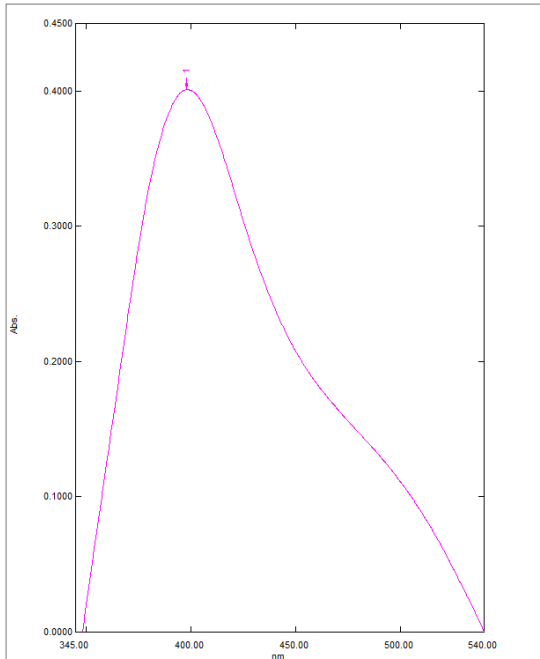


Figura 9. Espectro de AgNPs. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos y respaldados por Morales, Morán, Quintana y Estrada (2009), las bandas de absorción en el espectro, situadas alrededor de longitudes de onda de 390 a 450 nm, indican la presencia de nanopartículas metálicas, estas bandas se atribuyen a la absorción por resonancia de los plasmones superficiales, lo que valida los datos obtenidos, además, según Link y Sayed (1999), el pequeño tamaño de estas NPs oscila aproximadamente entre 2 y 10 nm según el pico espectral, junto con su elevada área superficial, favorece una interacción eficiente con las bacterias.

7.1.3. Actividad antimicrobiana: Inhibición del crecimiento de la bacteria *E. coli*

Siguiendo el procedimiento establecido en el estudio de Bauer-Kirby (1966) y adoptado por el Comité Nacional para la Normatización de Laboratorios Clínicos, se realizó la prueba de difusión por disco para evaluar la inhibición de *E. coli* utilizando discos elaborados con un filtro cualitativo, estos discos fueron sumergidos en una solución de NaOH a 0,1 M y posteriormente en AgNPs, según lo descrito en la

sección de contextualización. Para este análisis, se colocaron cuatro discos con una concentración específica de AgNPs en cajas de Petri, después de haber sembrado la bacteria *E. coli*. Además, se incluyen discos de papel sin nanopartículas como controles, con el propósito de comparar el efecto antimicrobiano de las AgNPs.

Todas las cajas de Petri, inoculadas con sus respectivos discos, se incubaron a 37 °C para observar posteriormente los halos de inhibición en el crecimiento de *E. coli* durante 48 horas. Al finalizar el período de incubación, se retiraron las cajas y se evaluó el crecimiento de la *E. coli*, identificando las zonas donde no hubo crecimiento bacteriano. Las zonas de inhibición se midieron con una regla desde la parte posterior de la caja, utilizando luz reflejada y sosteniendo la caja sobre una superficie negra que no refleje la luz. La figura 10 demuestra el crecimiento de la bacteria *E. coli* después de 48 horas de contacto con los discos sumergidos en AgNPs a una concentración de 0.0005 N, así como los discos de control que no contienen NPs (figura 11).

A partir de estas imágenes, se determinó que los halos de inhibición cambiaron de tamaño después de 48 horas de contacto, manteniéndose en un rango de aproximadamente 0,02 centímetros. En las figuras 10 y 11, que representan los controles de referencia a tiempos de contacto de 48 horas, se constató que los discos sin modificación con AgNPs, expuestas a *E. coli*, no presentaron ninguna barrera que impidiera el crecimiento de la bacteria a su alrededor. Esto evidencia el poder antimicrobiano de las AgNPs.

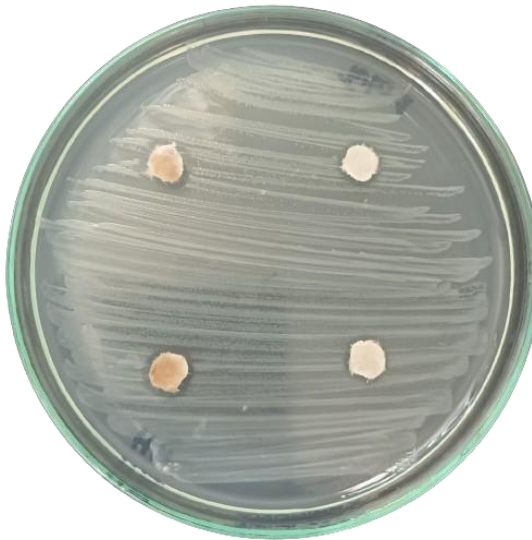


Figura 11. Pruebas indican sensibilidad del microorganismo a las AgNPs. Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Control de negativo de AgNPs. Fuente: Elaboración propia.

Bajo la premisa de los resultados obtenidos en el diseño experimental y los referentes conceptuales, se procedió a la estructuración del caso simulado.

7.2. Selección de los elementos teóricos para el diseño del CS.

La construcción del caso simulado se basó en la propuesta metodológica de Martínez, Villamil y Peña (2008), cuyos principios orientan tanto el diseño como la implementación del CS, proporcionan una estructura detallada que facilita la creación de casos simulados relevantes y permite vincular problemas socioambientales, científicos y tecnológicos. Siguiendo las pautas recomendadas por estos autores, descritas en la tabla 7, se estructuró un caso simulado centrado en la actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata sintetizadas mediante una técnica verde, con el fin de establecer interacciones CTSA y explorar su potencial para abordar problemáticas socioambientales desde una perspectiva científica y tecnológica.

Tabla 7. Diseño de acuerdo con la propuesta de Martínez, Villamil y Peña (2008)

Diseño de caso simulado	
Propuesta de Martínez, Villamil y Peña (2008)	Elaboración de CS

<p>Seleccionar una noticia verosímil que trate un problema socioambiental relevante para los estudiantes, basada en una revisión exhaustiva de fuentes para garantizar un conocimiento profundo y su tratamiento pedagógico.</p>	<p>Se seleccionó una noticia verídica que abordó una problemática socioambiental en el sector de Tocancipá en la cuenca alta del río Bogotá, relacionada principalmente con la contaminación generada por los vertimientos de agroindustrias y desechos domésticos, estos residuos son descargados sin ningún tratamiento previo. Esta noticia fue documentada a través de una revisión bibliográfica, lo que permitió no solo contextualizar a los PFLQ en una problemática auténtica, sino también fomentar un análisis crítico de las causas y consecuencias de esta situación, además la selección del tema relevante y cercano facilitó que los PFLQ comprendieran mejor las complejidades ambientales locales y promovieran una enseñanza conectada con la realidad que impulsa a reflexionar sobre posibles soluciones, sus implicaciones sociales y ambientales.</p>
<p>Definir los contenidos educativos relacionados con el problema seleccionado.</p>	<p>Se seleccionaron contenidos centrados en la implementación de la nanotecnología como una solución innovadora frente a los problemas ambientales en Tocancipá. Para abordar esta temática, fue fundamental investigar diversos aspectos, tales como la síntesis verde, la actividad antimicrobiana de AgNPs, y el método de caracterización espectroscopia UV-Vis, esenciales para evaluar su efectividad, así como el impacto ambiental de las innovaciones tecnológicas, con un enfoque particular en cómo estas pueden mitigar la contaminación y sus efectos en el entorno.</p>

<p>Diagnosticar las ideas e interacciones previas de los estudiantes en torno al problema y los contenidos educativos.</p>	<p>Se diagnosticaron las ideas e interacciones previas de los PFLQ sobre el problema y los contenidos mediante una prueba de entrada, la cual permitió identificar sus conocimientos previos en áreas como nanotecnología, síntesis verde, actividad antimicrobiana, métodos de caracterización y el impacto ambiental, así como el nivel de las interacciones CTSA. Al final de la intervención, se aplicó la misma prueba para evaluar el progreso en estas áreas, observando cómo el caso simulado contribuyó a una comprensión más crítica del papel de la tecnología en el entorno, su impacto social y las implicaciones ambientales en el contexto de Tocancipá.</p>
<p>Presentar la noticia objeto de discusión, identificar juntamente con los estudiantes los actores sociales involucrados en la controversia y definir la conformación de equipos de trabajo para representar a dichos actores, estos grupos deberán sumergirse en un proceso de consulta de diversos materiales para construir argumentos sólidos con orientación del profesor en la selección de datos significativos relevantes.</p>	<p>A partir de las interacciones CTSA (CT, TS, SA y AC), se definieron cinco roles específicos adaptados a la noticia, con el fin de enriquecer los argumentos de los participantes se les proporcionó diversas fuentes primarias como material de apoyo. Esta actividad, diseñada para simular una situación real, permitió evaluar la capacidad de los participantes para analizar información y tomar decisiones, favoreciendo así una comprensión crítica.</p>
<p>Analizar y categorizar las percepciones de los estudiantes sobre las interacciones CTSA.</p>	<p>Para analizar y categorizar las percepciones de los PFLQ sobre las interacciones CTSA en el contexto del caso simulado, se examinó cómo estos relacionaban conceptos y aplicaciones de la nanotecnología con sus efectos en la sociedad y el ambiente, así como las posturas asumidas en distintos roles. Este análisis incluyó una revisión de sus argumentos en la prueba de entrada y</p>

	<p>salida, además de las respuestas generadas durante el desarrollo del caso simulado, donde asumieron perspectivas a favor o en contra de las tecnologías propuestas para abordar el problema ambiental, por lo que las percepciones se categorizaron en tres niveles según la rúbrica establecida: <i>ingenuo, plausible y adecuado</i>.</p>
--	--

7.3. Análisis del caso simulado basado en roles

A continuación, se presentan los argumentos proporcionados por grupos de profesores en formación para cada pregunta orientadora del caso simulado aplicado, estas afirmaciones fueron grabadas con un teléfono celular y posteriormente transcritas a formato digital (Anexo 3). Para cada pregunta, se asignaron cinco roles (Comité Científico, Investigadores, Comunidad, Gobierno Local y CAR), los cuales se relacionan con el enfoque CTSA, estos roles fueron comparados y respaldados con autores que definen las interacciones CTSA establecidas por los profesores en formación, y se clasificaron las interacciones reflejadas en sus discursos.

7.3.1. PREGUNTA 1

¿De qué manera los avances científicos en nanotecnología pueden aportar a la solución de la situación ambiental de la calidad de agua por proliferación de bacterias en la cuenca alta del río Bogotá, en particular el sector que colinda con el municipio de Tocancipá?

7.3.1.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

Los PFLQ tienen un discurso generalizado debido a que en sus argumentos no especifican los avances tecnocientíficos relacionados con la nanotecnología solo se centran en la aplicación de las NPs en las diversas áreas, ya que mencionan que; *“las nanopartículas tienen un gran potencial para su aplicación en diversos campos como la agricultura, la industria farmacéutica, los procesos de tratamiento de aguas residuales, y la fabricación de insecticidas y pesticidas. Esto se debe, en gran medida, a su capacidad antibacteriana y fúngica, que ha sido descrita en algunas de ellas. Este aspecto es crucial para la*

mejora de los cultivos y el control de plagas” esta proposición no especifica los mecanismos para poder llevar a cabo cada una de estas aplicaciones, es decir, que no exploran cómo la implementación de esta tecnología podría generar nuevas oportunidades de investigación o cómo podría impulsarse el desarrollo de tecnologías más sostenibles a través de la ciencia, dificultando entender la interacción que predomina en los participantes. Se evidenció que los participantes no asumieron adecuadamente su rol, ya que faltaron datos concretos respaldados por investigaciones o artículos relevantes, lo que generó confusión y desconexión con la pregunta planteada.

7.3.1.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

La respuesta demuestra una comprensión sólida de cómo los avances en nanotecnología, particularmente en el uso de AgNPs, pueden contribuir a resolver problemas ambientales, como la contaminación del agua en la cuenca alta del río Bogotá. En este contexto, se identificó que la interacción predominante es entre Ciencia y Tecnología (C-T), los participantes expresan que *"la nanotecnología investiga las NPs y analiza sus propiedades específicas, en este caso, sus propiedades antimicrobianas, las cuales resultan efectivas para eliminar los patógenos presentes en el agua"* esto refleja que reconocen cómo la ciencia proporciona las bases teóricas y empíricas que sostienen el desarrollo de tecnologías innovadoras, aprovechando las propiedades únicas de las nanopartículas para abordar problemas ambientales de manera más eficaz que los métodos tradicionales.

Por ejemplo, los participantes señalaron que *"su pequeño tamaño (aproximadamente entre 2 y 10 nm) y su alta área superficial permiten que interactúen eficientemente con los microorganismos patógenos presentes en el agua, eliminándolos de manera efectiva"* estas características hacen de las AgNPs una alternativa viable para mejorar la calidad del agua, especialmente en el tratamiento de aguas contaminadas en áreas vulnerables, como Tocancipá. En este planteamiento, los profesores en formación destacan que el tamaño reducido y la alta área superficial de las AgNPs les otorgan una capacidad de reacción elevada, promoviendo interacciones eficientes con los patógenos en el agua, lo cual se traduce en una mayor capacidad de adsorción y eliminación de contaminantes, superando las limitaciones de los adsorbentes convencionales (Baker et al., 2014).

Si bien, asumieron su rol de manera adecuada, es importante señalar que su análisis presenta desaciertos, ya que podrían haber incorporado investigaciones más recientes que proporcionen ejemplos claros y relevantes sobre la aplicación de NPs en fuentes hídricas, estos ejemplos podrían incluir estudios que demuestren cómo las AgNPs han sido implementadas en tratamientos de agua y sus beneficios, tales como la mejora en la calidad del agua potable y la reducción de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada.

7.3.1.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

El argumento refleja la postura en contra de la implementación de las AgNPs, puesto que mencionan que *“debería de existir campañas de información acerca de los beneficios e incluso potenciales riesgos que estos avances puedan ocasionar, debido a que no solo afecta a la cuenca alta del río Bogotá, sino que, a todo el paso del río, debido a que no se tendría claridad de qué tan efectivas sean las nanopartículas en las zonas bajas del río Bogotá esto al ser un trayecto extenso a nivel de territorio”* es decir, se enfocan en la influencia que van a tener las NPs en la calidad del agua, y afecta directamente a la población, la interacción entre ambiente y ciencia (A-C) es predominante, para lo cual proponen la importancia de campañas informativas para la comunidad sobre los beneficios y posibles riesgos de las NPs procedentes de metales tóxicos como la plata, lo cual implica un entendimiento de cómo el conocimiento científico debe ser aplicado con precaución en contextos ambientales complejos, además, en su respuesta, los PFLQ citaron a Navarro et al. (2021), quienes afirman que las NPs en la atmósfera pueden modificar procesos fotoquímicos y migrar largas distancias, contribuyendo a la contaminación secundaria de cuerpos de agua y suelos, lo que podría aumentar la exposición de estas partículas a la población, su investigación también resalta que las NPs tienen efectos adversos sobre organismos acuáticos, afectando su desarrollo y bienestar.

Asumieron su rol y postura de manera adecuada al proponer estrategias para informar a la comunidad sobre los beneficios y riesgos asociados con el uso de NPs, resaltando que las NPs pueden implicar ciertos riesgos ambientales y para la salud y al integrar estos

elementos en su argumentación, los participantes lograron presentar una perspectiva más completa y responsable sobre la implementación de las NPs en el tratamiento de agua.

7.3.1.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

Los PFLQ establecen una interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S), dado que esta tecnología tiene el potencial de mejorar la calidad del agua para así mejorar la salud pública, puesto que mencionan *“que el método de sintetizar AgNPs ha demostrado propiedades antimicrobianas efectivas, en particular contra bacterias como Escherichia coli, que son responsables de enfermedades gastrointestinales prevalentes en la región debido a fuentes de aguas contaminadas”*, además mencionan la importancia de involucrar a la comunidad, en prácticas sostenibles para asegurar un impacto positivo en el entorno, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible a nivel global, sin embargo, mencionan que para que el gobierno respalde efectivamente la implementación de nuevas tecnologías que incorporen nanomateriales en la descontaminación del agua, es necesario discutir la creación de regulaciones y leyes que faciliten su implementación, estas normativas deben garantizar la seguridad y eficacia de las tecnologías, al mismo tiempo que se fomente la inversión en investigación y desarrollo en este ámbito.

Los participantes asumieron de manera general su rol, pero enfrentan dificultades en la validez de sus argumentos debido a la falta de evidencia que demuestre su eficacia en situaciones similares, es esencial que presenten ejemplos concretos de aplicaciones anteriores de estas tecnologías.

7.3.1.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Los PFLQ presentan un discurso con un alto nivel de comprensión sobre el potencial de la nanotecnología para abordar problemas ambientales, en sus argumentos, la interacción predominante es la de Ciencia y Tecnología (C-T), subrayando que *“en el campo de la nanotecnología se postulan soluciones innovadoras y efectivas para mejorar la calidad del agua en la región”* resaltan, en particular, el uso de NPs antimicrobianas, fotocatalizadores y sensores nanoestructurados para detectar contaminantes en bajas concentraciones, estos aspectos contribuyen no solo a la mejora de la

salud pública de la región, sino también a la promoción de la sostenibilidad, el uso de las AgNPs, con potente actividad antimicrobiana, y de fotocatalizadores, ofrece un enfoque innovador y eficaz para la descontaminación del agua, lo cual refleja la relación coherente entre investigación y desarrollo tecnológico al fundamentar las herramientas avanzadas en sólidos conocimientos científicos.

El discurso se encuentra bien fundamentado cuando se menciona que *“es necesario emplear métodos alternativos para la purificación y desinfección del agua, usando nanomateriales para la potabilización y tratamiento de aguas residuales, ya que es indispensable remover elementos como metales, agentes inorgánicos, orgánicos y microorganismos patógenos.”* este argumento, respaldado por estudios como el de Gelover (2015), refuerza la idea de que los métodos tradicionales de depuración del agua son insuficientes; en este contexto, la nanotecnología se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales, la eliminación de microorganismos patógenos y la mejora de la salud pública.

La postura del grupo, favorable hacia el uso de AgNPs, resulta adecuada, ya que, en su rol de regulador y protector del medio ambiente, promueven soluciones tecnológicas que no solo elevan la calidad del agua, sino que también consideran el impacto económico y las necesidades industriales de la región, al mencionar industrias de relevancia como Bavaria, Kimberly, Belcorp, Quala, Diaco y Coca-Cola, que dependen del suministro de agua en Tocancipá, se refuerza la urgencia de implementar métodos efectivos como el uso de AgNPs para el tratamiento y conservación del recurso hídrico.

A partir de las respuestas de los PFLQ, se evidencia que la interacción más destacada fue la de la relación C-T se mencionó con mayor frecuencia y se abordó de manera más puntual apareciendo explícitamente solo en el análisis realizado por algunos grupos, además los PFLQ que desarrollaron esta relación destacaron cómo los fundamentos científicos sirven de base para el desarrollo de nuevas tecnologías, específicamente en la identificación de propiedades útiles para resolver problemas ambientales de manera más efectiva que los métodos tradicionales, por lo que, esta perspectiva coincide con la literatura, que enfatiza cómo la investigación científica proporciona el fundamento esencial para el desarrollo de tecnologías innovadoras, impulsando soluciones para desafíos contemporáneos (Martínez y Parga, 2013), a

pesar de esto, la discusión en torno a los mecanismos y limitaciones de estas aplicaciones fue limitada, mostrando una posible oportunidad de desarrollo en la comprensión de cómo el avance científico se traduce en innovaciones tecnológicas concretas para el tratamiento de problemas ambientales.

En contraste, la interacción A-C fue abordada desde una perspectiva de precaución y responsabilidad en el uso de tecnologías para tratar problemas ambientales, lo cual se refleja en la atención que los participantes dedicaron a los posibles impactos ambientales y sociales de implementar nuevas tecnologías, incluyendo los efectos en el ecosistema y el riesgo de contaminación secundaria, hacen énfasis en la ética y la responsabilidad del conocimiento científico subraya la necesidad de aplicar la ciencia con conciencia ambiental, en línea con estudios que destacan que "las interacciones entre la ciencia y el medio ambiente resaltan la importancia de una ética ambiental en la aplicación de tecnologías emergentes" (Salazar y Garizado, 2018).

7.3.2. PREGUNTA 2

¿Cómo influye el desarrollo tecnocientífico en la percepción y las acciones de la sociedad ante el caso de Tocancipá?

7.3.2.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

Los PFLQ demuestran que la interacción más predominante es entre Tecnología y Sociedad (T-S), ya que en su discurso indica que, *“la integración de tecnologías innovadoras, como las AgNPs para la descontaminación del agua, no solo proporciona soluciones a problemas ambientales, sino que también modifica la forma en que la comunidad percibe estos desafíos y las herramientas disponibles para abordarlos”* es decir que, la adopción de tecnologías innovadoras puede generar una percepción positiva hacia la ciencia, ya que estas se asocian con la mejora de la calidad de vida, este enfoque es respaldado por Ribelles, Solbes y Vilches (2010), quienes destacan que la educación y divulgación sobre nanotecnología pueden enriquecer la comprensión de la comunidad sobre cómo estas innovaciones abordan problemas ambientales críticos, asimismo, señalan que *“el desarrollo tecnocientífico debe ir acompañado de un marco regulatorio que garantice la protección del medio ambiente y la salud pública”*, en este contexto, Vilches (2015) destaca la importancia sobre la necesidad de fomentar la toma de decisiones informadas, lo

que refuerza la idea de que la ciencia y la tecnología deben alinearse con las necesidades y preocupaciones de la sociedad. Los participantes asumieron adecuadamente su rol como investigadores, sin embargo, es fundamental que destaquen aspectos éticos y de seguridad en el uso de nanomateriales en la gestión del agua.

7.3.2.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Los PFLQ destacan que la interacción más predominante es la que existe entre Tecnología y Sociedad (T-S), al señalar que *“la incorporación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales no solo mejoraría la calidad del agua, sino que también podría aumentar la conciencia sobre la protección del medio ambiente y, en particular, de los recursos hídricos”* esta implementación podría no solo beneficiar a la calidad del agua, sino también promover una mayor conciencia ambiental y fomentar la participación ciudadana en la gestión de estos recursos. Además, los participantes abordan tanto los beneficios de las AgNPs como los desafíos técnicos y ambientales que enfrentan estas tecnologías. En este sentido, enfatizan que cualquier desarrollo tecnocientífico debe ser evaluado no solo desde la perspectiva de su viabilidad técnica, sino también en función de su impacto social y ambiental. Por ejemplo, mencionan que *“aún no está claro en las investigaciones un plan de manejo de residuos de AgNPs, ni ha sido evidente un plan para recuperar la plata que queda como residuo o precipitado del proceso, o si es viable generar algún tipo de reutilización de este material”* esto subraya la necesidad de investigar la recuperación de la plata residual y las posibles formas de reutilización de este material, tal como indica Tovar (2019).

Los PFLQ han asumido adecuadamente el rol, ya que su respuesta presenta un enfoque analítico y detallado sobre el uso de AgNPs en el tratamiento de aguas residuales, en este sentido, el argumento se fundamenta en evidencia científica, lo que les permite evaluar no solo las ventajas de estas tecnologías, como su eficacia en la eliminación de contaminantes, sino también sus riesgos asociados.

7.3.2.3. EL ROL DE COMUNIDAD

Los argumentos de PFLQ reflejan una clara relación entre tecnología y sociedad (T-S) ya que señalan *“que desde su rol como comunidad hay*

cierta inquietud, debido a las afectaciones en la salud causadas por bacterias como E. coli, especialmente en niños y personas mayores, es comprensible que en las zonas municipales exista un nivel de desconocimiento y cierto temor sobre el uso de las AgNPs en el tratamiento del agua” ya que al abordar cómo la introducción de nuevas tecnologías, como las AgNPs, puede generar preocupaciones en la comunidad, especialmente por la falta de conocimiento sobre su uso en el tratamiento de bacterias como *E. coli*. Este desarrollo tecnocientífico se percibe con cierta desconfianza debido a las afectaciones de salud ya existentes en niños y personas mayores, lo que resalta el impacto social que tiene la tecnología cuando no se comprende completamente. Además, destacan cómo la falta de información influye en la percepción pública, llevando a la comunidad a resistirse a nuevas soluciones tecnológicas por temor a lo desconocido, lo que evidencia la necesidad de educar y sensibilizar a la población sobre los beneficios potenciales de estos avances científicos en su vida cotidiana.

Resaltan que en el municipio de Tocancipá deberían implementarse estrategias de conciencia ciudadana sobre el cuidado de los recursos hídricos, siguiendo el ejemplo del Programa Nacional de Cultura del Agua, activo desde 2018, que ha desarrollado procesos de divulgación y sensibilización, junto con campañas de comunicación educativa, para promover cambios culturales responsables en el manejo del agua, donde proponen que dichas campañas sean accesibles, claras y transmitidas en un lenguaje comprensible para la comunidad, utilizando una variedad de medios de comunicación, desde los masivos y locales hasta los digitales, para contribuir a reducir el temor hacia nuevas tecnologías como las AgNPs y fomentar la participación ciudadana en la gestión recurso hídrico.

7.3.2.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

Los PFLQ establecen que el desarrollo tecnocientífico influye de manera significativa en la percepción y acciones de la sociedad frente a los problemas de contaminación en Tocancipá mencionando que *“los avances en el conocimiento científico, en particular en campos como la nanotecnología, ayudan a crear conciencia sobre la gravedad de la contaminación del agua y sus implicaciones para la salud pública”*, también mencionan que este proceso investigativo empodera

a los ciudadanos al proporcionarles las herramientas necesarias para comprender los riesgos asociados a la contaminación del agua y los motiva a buscar soluciones de manera activa.

Este fenómeno refleja una clara interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S), destacando que el avance tecnológico no solo facilita la identificación de problemas, sino que también transforma la relación de la sociedad con su entorno. En este contexto, la investigación científica puede cambiar la conciencia social y fomentar la acción frente a desafíos ambientales.

Los participantes destacan la importancia de que los gobiernos y las instituciones locales tomen medidas concretas para mitigar la contaminación y proteger la salud pública, especialmente a medida que los ciudadanos adquieren mayor conocimiento sobre las intervenciones tecnológicas y sus beneficios. Esta interacción subraya la necesidad de una colaboración efectiva entre actores sociales, tecnológicos y gubernamentales, creando un enfoque integral que permita abordar los desafíos ambientales de manera conjunta, combinando el avance científico con la acción política para promover el bienestar colectivo y la sostenibilidad.

7.3.2.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Los PFLQ enfatizan principalmente la interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S), destacando cómo los avances en nanotecnología, como el uso de AgNPs, pueden tener un impacto positivo en la sociedad al ofrecer soluciones más efectivas para problemas de interés público, como la contaminación del agua. En particular, resaltan que *“la mitigación del crecimiento bacteriano puede ser percibida como una solución moderadamente efectiva dentro de la comunidad, lo que podría despertar interés y fomentar investigaciones adicionales sobre este método innovador”*, lo que sugiere que la implementación de AgNPs no solo contribuiría a mejorar la calidad del agua, sino también a elevar la calidad de vida local.

Los participantes argumentan, en línea con Parra y Cadena (2010), que “el desarrollo tecnocientífico ha transformado los procesos sociales mediante la introducción de técnicas innovadoras para abordar problemas ambientales”. En este contexto, mencionan que se

requiere *“un monitoreo constante de los recursos hídricos, con el objetivo de prevenir nuevas afectaciones, así como la difusión de información regular por parte de las autoridades”* y la identificación de las principales fuentes de contaminación. De este modo, los participantes asumen de manera adecuada su rol como representantes de la CAR, adoptando una postura favorable hacia el uso de AgNPs para la remoción de contaminantes, alineándose así con las responsabilidades institucionales en la gestión de los recursos hídricos.

A partir de las respuestas de los PFLQ, se observa que la interacción entre (T-S) es la más predominante, debido a que los participantes se centraron en la implementación de tecnologías innovadoras, como AgNPs, como una intervención que no solo ofrece soluciones directas a los problemas ambientales, sino que también tiene el potencial de modificar significativamente la percepción social sobre el papel de la ciencia y la tecnología en la mejora del bienestar público. Según Ribelles, Solbes y Vilches (2010), el impacto de la tecnología en la vida cotidiana puede fomentar una confianza renovada en la ciencia, impulsando a la comunidad a adoptar una visión más proactiva hacia el cuidado ambiental y la aceptación de tecnologías avanzadas que prometen beneficios concretos.

Los PFLQ identifican la implementación de las AgNPs no solo como una alternativa viable para combatir las problemáticas ambientales, sino también como un recurso educativo que puede influir positivamente en la conciencia y responsabilidad ambiental de la comunidad y esto coincide con el enfoque de Vilches (2015), quien destaca que el conocimiento práctico sobre los beneficios de las aplicaciones tecnocientíficas en el ambiente estimula un mayor sentido de compromiso en la población.

Sin embargo, en las respuestas también emergen desafíos éticos y sociales que subrayan la necesidad de evaluar los riesgos potenciales asociados con el uso de nanomateriales, como las AgNPs, en ambientes comunitarios, por otro lado, la mención de Parra y Cadena (2010) en las respuestas refleja la inquietud de los participantes sobre la carencia de un marco regulador que oriente el uso seguro y responsable de estas tecnologías, así como la importancia de informar a la comunidad sobre sus riesgos y beneficios, por lo que, los PFLQ sugieren que sin una regulación adecuada y una educación pública que explique los aspectos positivos y las posibles limitaciones de las AgNPs podría generarse desconfianza o malinterpretaciones respecto a su uso, en este sentido, el desarrollo tecnocientífico

no solo actúa como un recurso de intervención ambiental sino también como un motor de cambio social que debe ser acompañado de políticas éticas y de una gestión de riesgos que facilite su aceptación en la sociedad.

7.3.3. PREGUNTA 3

¿Cómo ha afectado la contaminación del agua en el municipio de Tocancipá, la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, especialmente de los grupos más vulnerables?

7.3.3.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

Los PFLQ establecen cómo la contaminación del agua en Tocancipá afecta negativamente la salud y el bienestar de los habitantes, particularmente los grupos más vulnerables, ya que mencionan que, *“la contaminación del agua se ha visto afectado por diferentes contaminantes debido a los tipos de vertientes de aguas residuales que hay en la zona, uno de los grandes problemas de contaminación en la zona es a causa de la E. Coli, precisamente por la cepa de Enteropatógeno y Enteropasivo, estas según Rock, C y Rivera, C, 2014, causan diarrea acuosa, a veces con sangre, así mismo causa la disentería y la fiebre es un síntoma común, es muy común que se evidencia estos problemas en los países subdesarrollados. Los principales contaminantes son por agentes patógenos, desechos que requieren de oxígeno, sustancias químicas inorgánicas como los ácidos o compuestos metales, sustancias químicas provenientes de plásticos, plaguicidas y detergentes. Todas estas actividades orientadas al crecimiento industrial en la zona de Tocancipá, ha generado problemáticas en los habitantes, en los sistemas acuáticos y terrestres de la zona”* por lo que, hacen referencia a la presencia de agentes patógenos como *E. coli* una bacteria que puede provocar enfermedades graves, las cuales son comunes en áreas subdesarrolladas reforzando el impacto tangible que tiene la contaminación en la vida cotidiana de las personas.

Los participantes reflejan que la interacción más predominante es entre Sociedad-Ambiente (S-A), ya que, señalan que, *“para enfrentar la contaminación del agua en Tocancipá, a través de la educación ambiental los habitantes pueden comprender la importancia de proteger los recursos hídricos, promoviendo prácticas sostenibles*

como la reducción de residuos y el uso responsable del agua” es decir que, es importante la colaboración comunitaria y el compromiso social para abordar esta problemática, donde se destaca el papel de la educación, la participación y la adaptación de prácticas sostenibles como medidas claves para mejorar la calidad de vida y el bienestar, especialmente de los grupos más vulnerables.

Los PFLQ asumen el rol de manera adecuada, proporcionando un enfoque técnico y detallado sobre los efectos de la contaminación del agua en Tocancipá, además, se apoya en investigaciones previas, aportando un marco sólido para entender la relación entre la contaminación y la calidad de vida de los habitantes.

7.3.3.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Los PFLQ presentan argumentos fundamentados en evidencia científica, citando estudios y datos relevantes, como los proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la mortalidad infantil relacionada con enfermedades diarreicas y los riesgos asociados al consumo de agua insalubre. Además, destacan que *“los habitantes han presentado denuncias ante la administración del municipio contra la empresa Leona por su incumplimiento de las normativas sobre el desecho de residuos en sus instalaciones. Los denunciantes aseguran que la empresa no cuenta con la tubería adecuada”*, asimismo, informan que, desde enero de este año, el hospital de Sopo interpuso una demanda a la administración y a la fiscalía, alegando que la empresa es responsable de la propagación de la contaminación en la quebrada Chucua, según las cifras del hospital, ha habido un aumento en los casos de enfermedades gastrointestinales. Estos esfuerzos evidencian la identificación de problemas específicos de contaminación hídrica en Tocancipá y sus implicaciones para la salud pública.

La interacción más predominante es entre Sociedad y Ambiente (S-A), ya que se destaca cómo la contaminación del río afecta la salud de los habitantes, enfatizando en las enfermedades gastrointestinales y otros problemas derivados de la exposición al agua contaminada, también mencionan el riesgo para los cultivos locales, lo que repercute directamente en la economía y el sustento de la comunidad, en este

sentido, Leff (1998) señala que las problemáticas ambientales no solo impactan los ecosistemas, sino que también tienen consecuencias sociales, económicas y políticas. Aunque asumieron su rol de manera adecuada, los participantes se centraron exclusivamente en la tasa de mortalidad, sin profundizar, como investigadores, en los estudios previos que identifican los patógenos presentes en el agua ni en las alternativas no invasivas que podrían utilizarse para abordar la contaminación.

7.3.3.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

Los PFLQ presentan la interacción más predominante entre ambiente y sociedad (A-S) al destacar cómo la contaminación del agua en Tocancipá ha impactado directamente la salud y calidad de vida de sus habitantes, especialmente de los grupos más vulnerables. Los participantes mencionan una noticia publicada en el periódico *El Tiempo* (2005), *“que revela que más de 30 empresas en la zona, muchas de las cuales carecen de un manejo adecuado de aguas residuales, están contribuyendo al deterioro ambiental, de estas, más de 10 industrias no cuentan con permisos de vertimiento o incumplen las normativas ambientales; como resultado, la dirección del Hospital de Sopó ha informado un aumento en la cantidad de pacientes que presentan brotes en la piel y enfermedades gastrointestinales”*.

Además, mencionan que los habitantes de la vereda de Briceño, que deben atravesar la quebrada La Chucua, han denunciado que la contaminación se ha intensificado tras la instalación de la planta cervecera de Leona en Tocancipá, lo cual presenta un claro impacto negativo en el medio ambiente que ha causado problemas de salud que afectan no solo el bienestar físico de la población, sino también la estabilidad económica de las familias, al incrementar los gastos médicos. Los participantes asumieron su rol de manera adecuada, ya que proporcionaron ejemplos concretos de cómo la contaminación impacta a la comunidad de Tocancipá y sus alrededores.

7.3.3.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

Los PFLQ destacan mencionan *“el consumo de agua contaminada ha provocado un marcado aumento de casos de enfermedades gastrointestinales, con síntomas como diarrea, vómitos y dolor abdominal, que atentan directamente contra la salud de la población”*.

Este planteamiento resalta la interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S), la cual es visible en los llamados urgentes de la comunidad a las autoridades locales para enfrentar la crisis ambiental. Sus argumentos destacan que los avances tecnológicos y las investigaciones científicas son fundamentales para elaborar planes de manejo y estrategias que prevengan y controlen los efectos de la contaminación puesto que estas acciones son clave para implementar soluciones efectivas que reduzcan los daños y aseguren el acceso a agua potable segura.

El gobierno local desempeña un papel como agente regulador, siendo responsable de identificar los problemas ambientales y trabajar en conjunto con organizaciones para que el Estado apruebe y financie estrategias basadas en nanotecnología. Un ejemplo puntual que mencionan en Colombia es en cuanto a un proyecto donde, *“se ha demostrado que los materiales con base en carbón activado producidos a partir de residuos de café presentan un buen desempeño en la adsorción de crudo y que, comparados con la cascarilla de nuez, que es el material empleado en la industria actualmente, presentan rendimientos mayores al 100%.* Aunque el Estado no ha respaldado directamente ningún proyecto de nanotecnología para descontaminar aguas, los participantes mencionan que sería ideal que el municipio lo considere para proteger la salud pública, especialmente porque colinda con muchas industrias.

7.3.3.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Los PFLQ destacan la interconexión entre las condiciones ambientales y el bienestar social, enfocándose en la interacción entre Tecnología y Sociedad (T-S). En este contexto, señalan que el municipio de Tocancipá no ha cumplido con los estándares de calidad del agua establecidos, ya que el informe de calidad hídrica del río Bogotá realizado por la CAR en 2023 revela niveles alarmantes de coliformes totales, alcanzando 7.3×10^4 NMP/100 mL, muy por encima del límite máximo permitido de 5×10^3 NMP/100 mL. Además, citan que *“Claudia Paola Barrera, ingeniera ambiental y magíster en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional, quien advierte que el crecimiento industrial desfavorable reduce la disponibilidad de agua para consumo humano y uso doméstico, lo que genera un impacto social significativo al obligar a las familias a buscar alternativas más*

costosas o menos seguras” esta situación evidencia no solo un incumplimiento grave de los estándares de calidad del agua, sino también la contaminación bacteriológica que impide su uso seguro en actividades humanas y agrícolas, así como las consecuencias del vertimiento de aguas residuales sin tratar, exacerbadas por el aumento de la actividad industrial en la región.

Basándose en investigaciones como la de Chávez (2018), los participantes proponen solicitar apoyo del gobierno y la comunidad científica para concientizar a la población sobre la importancia de preservar los recursos hídricos. Además, sugieren implementar tecnologías basadas en NPs para la remoción de contaminantes en las aguas, instalando filtros que funcionen como membranas impregnadas con nanomateriales, esta tecnología permitiría una purificación rápida y efectiva del agua a medida que fluye por las áreas contaminadas, mejorando su calidad de manera sostenible, favoreciendo la salud pública de la comunidad. Los participantes han asumido adecuadamente su rol como representantes de la CAR, debido a que apoyan el uso de NPs en la remoción de contaminantes de las fuentes hídricas, abordando el problema desde un enfoque multidimensional que busca garantizar un desarrollo sostenible y una gestión eficaz de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Bogotá.

A partir de las respuestas de los PFLQ, la interacción predominante es la de S-A, ya que, destacaron que los problemas de contaminación, particularmente los asociados con patógenos como *Escherichia coli* y residuos industriales, están teniendo un impacto directo y negativo en la salud y calidad de vida de la población, en especial en las comunidades más vulnerables, además mencionan cómo la contaminación del agua no solo se manifiesta en términos de salud pública, sino que también afecta la economía local, de igual manera el aumento en los gastos médicos y la disminución del acceso a fuentes de agua segura reflejan una carga adicional sobre las familias afectadas, lo cual coincide Leff (1998), quien enfatiza que las problemáticas ambientales no solo tienen consecuencias ecológicas, sino que también generan repercusiones sociales, económicas y políticas, lo que conlleva a que esta situación sea grave en áreas donde los recursos naturales representan una fuente esencial para el sustento y bienestar de las comunidades.

Además, algunos PFLQ subrayaron la importancia de implementar prácticas comunitarias y programas educativos para fomentar el cuidado del agua y la

reducción de residuos como estrategias preventivas y sostenibles, ahora el impulsar una ciudadanía activa y consciente de la importancia de los recursos hídricos es fundamental para mitigar el impacto de la contaminación y a su vez, contribuir a la mejora de la salud y calidad de vida de los habitantes, este enfoque es coherente con Navarro et al. (2021), quienes destacan que la presencia de contaminantes en los recursos hídricos puede desencadenar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos, afectando desde la fauna local hasta la salud humana, lo cual refuerza la necesidad de un abordaje integral que involucre tanto la intervención social como la ambiental.

7.3.4. PREGUNTA 4

¿Qué desafíos se generan a partir del desarrollo científico y tecnológico de nanomateriales para mitigar los efectos a corto, mediano y largo plazo de la situación descrita en el municipio Tocancipá?

7.3.4.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

Los PFLQ presentan que la interacción más predominante es Ciencia y Tecnología (C-T) al reconocer que los avances científicos permitieron el desarrollo de tecnologías basadas en nanomateriales para el tratamiento del agua, destacando desafíos tecnológicos y científicos persistentes, mencionando lo siguiente: *“existen varios desafíos por enfrentar para la implementación de este método a escala industrial. En primer lugar, Nasrollahzadeh et al. (2020) menciona que una de las principales desventajas del uso de estos materiales es que pueden bioacumularse en fuentes hídricas, suelos e, incluso, en algunos casos, en el aire. Por otro lado, Gupta et al. (2022) señala que otro de los riesgos que presentan las nanopartículas es la toxicidad que puede generar su exposición en el organismo humano, ya que, debido a su tamaño, pueden alojarse en los pulmones, corazón, sistema nervioso, entre otros. Finalmente, se ha evidenciado que su inclusión en procesos a escala industrial suele ser lenta, además de traer mayores costos asociados a su reutilización en procesos de filtración mediante membranas (Pérez et al., 2023). Es importante mencionar que los avances tecnológicos requieren ajustes científicos continuos para minimizar los riesgos y mejorar la efectividad de los nanomateriales en la remediación de aguas.”*

Los argumentos abordan de manera significativa los desafíos tecnológicos y científicos asociados al uso de nanomateriales para la remediación de aguas contaminadas en Tocancipá y desde el enfoque de Ciencia y Tecnología (C-T), los participantes identifican correctamente que la investigación científica ha permitido desarrollar nanomateriales como las NPs, aunque prometedoras, estos nanomateriales enfrentan problemas importantes, como las mencionadas anteriormente, lo que refleja un entendimiento adecuado de la relación.

Los participantes asumieron de manera adecuada su rol, ya que proporcionaron una visión crítica sobre las ventajas y riesgos de los nanomateriales en la remediación de fuentes hídricas, al igual que su postura a favor de las NPs está bien fundamentada, aunque sería recomendable ampliar el respaldo teórico mediante ejemplos de aplicaciones exitosas, lo que fortalecería aún más la validez de su argumento.

7.3.4.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Los PFLQ abordan de manera relevante la aplicación de avances científicos, destacando la necesidad de que, a corto plazo, *“la ciencia y la tecnología demuestren a las autoridades territoriales, específicamente a la entidad ambiental, la importancia de obtener la licencia ambiental para el sector industrial de esta zona, como las curtiembres”* resaltan el uso de AgNPs como una posible solución para enfrentar problemas ambientales, así como los desafíos asociados a su implementación tecnológica, aunque identifican retos importantes para mitigar la contaminación del agua en Tocancipá, su análisis revela que la interacción predominante es entre Ciencia y Tecnología (C-T). Sin embargo, se evidencia una falta de respaldo teórico basado en investigaciones previas, ya que no exploran de manera adecuada cómo la investigación en nanotecnología está impulsando avances tecnológicos específicos y cómo estos pueden ofrecer soluciones prácticas a problemas sociales.

Los participantes asumen de manera parcial su rol, ya que un investigador debe ser capaz de proponer y evaluar soluciones

basadas en los avances de la nanotecnología, en este caso, el enfoque sobre las AgNPs es algo limitado, aunque el argumento sobre los desafíos a largo plazo es adecuado, al mencionar la sostenibilidad y los riesgos asociados con los residuos, carece de un análisis técnico detallado sobre cómo abordar estos desafíos desde la perspectiva científica.

7.3.4.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

Los PFLQ destacan una clara interacción entre ciencia y tecnología (C-T) al abordar investigaciones preliminares sobre las preocupaciones de los efectos de las NPs en organismos vivos donde señalan, *“que los riesgos asociados a estas partículas podrían afectar no solo a los consumidores de productos que contienen nano componentes, sino también a los trabajadores de las industrias que manejan nanopartículas, además, advierten que en caso de liberarse en la atmósfera, estas partículas podrían tener un impacto negativo en la salud de la población en general, es decir que estas nanopartículas se pueden bioacumular en cuerpos de agua y seres vivos (Foladori & Invernizzi, 2005).”* Además, resaltan que *“las NPs representan un avance tecnológico, pero que no ofrecen una solución inmediata ni a largo plazo a la problemática de la contaminación del agua en el río Bogotá, basándose en el informe de la Royal Society y The Royal Academy of Engineering, que advierte sobre las consecuencias imprevistas del uso de nanopartículas para descontaminar el agua, donde se establece que la alta reactividad superficial de las NPs podría impactar negativamente a los seres vivos y alterar los procesos ecosistémicos.”*

Los argumentos destacan los desafíos científicos y tecnológicos relacionados con el uso de nanomateriales desde la perspectiva de C-T, ya que, los participantes reconocen correctamente que la investigación científica ha facilitado el desarrollo nuevas tecnologías como las NPs, pero se evidencian obstáculos importantes lo que refleja un entendimiento adecuado de la relación C-T, que es fundamental para expandir el conocimiento y desarrollar nuevas herramientas y eficientes al mismo tiempo.

Los participantes asumieron su rol de manera adecuada y su postura en contra refleja de forma clara los posibles riesgos asociados con la liberación de NPs en el agua y en la atmósfera, como es sabido, la plata puede ser tóxica y su ingesta al organismo humano puede provocar diversas patologías, por lo tanto, sería prudente que su análisis incluyera regulaciones que establezcan concentraciones permitidas para la síntesis de NPs, de modo que, su ingestión no afecte la salud pública.

7.3.4.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

Los PFLQ destacan que la interacción más predominante se produce entre Tecnología y Sociedad (T-S), enfatizando que *"el uso de nanopartículas de plata para la purificación del agua capta el interés público y genera esperanza para estrategias de remediación efectivas"*, esta percepción refuerza la confianza de la comunidad en soluciones científicas, promoviendo la colaboración entre residentes, autoridades locales y organizaciones científicas. Además, subrayan la importancia de investigar y desarrollar nanomateriales, especialmente las AgNPs, para optimizar su síntesis y mejorar su eficacia antibacteriana, mientras se evalúan cuidadosamente sus implicaciones sociales y ambientales. Investigaciones han mostrado que, aunque las AgNPs son prometedoras contra bacterias, pueden tener efectos adversos en el medio ambiente (Navarro et al., 2008; Nowack & Bucheli, 2007). Citan a Liu y Zhao (2013), la viabilidad de las NPs en aplicaciones a gran escala depende de su costo, eficacia y minimización de riesgos.

Si bien asumieron el rol de manera parcial, mencionando puntos clave sobre la actividad antimicrobiana de las AgNPs, no lograron responder completamente a la pregunta desde su perspectiva. En lugar de indagar los desafíos asociados con la implementación de estas tecnologías, se centraron en la eficacia de las AgNPs para combatir las bacterias presentes en el agua, omitiendo así un análisis más profundo que incluya las implicaciones sociales y ambientales.

7.3.4.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Los PFLQ destacan que la interacción más relevante es entre Ciencia y Tecnología (C-T), enfatizando el potencial de las AgNPs como herramientas versátiles. Según argumentan, *"sus propiedades difieren*

significativamente de las de los átomos individuales, lo que les permite convertirse en especies versátiles compuestas de diferentes materiales y adoptar múltiples formas. Además, su versatilidad posibilita la modificación de propiedades a través de tratamientos superficiales, permitiendo así su aplicación en contextos específicos". Esta capacidad es especialmente para abordar problemas específicos, como la inhibición de *Escherichia coli*. no obstante, aunque se identifican correctamente algunos desafíos, como la inocuidad y la necesidad de garantizar que el uso de AgNPs no produzca efectos adversos en el medio ambiente, el análisis presenta una visión algo superficial respecto a la seguridad y la eficacia de estos nanomateriales, así como los posibles efectos negativos asociados con su uso.

Los participantes asumieron su rol de manera adecuada, enfatizando la importancia de evaluar la eficacia y seguridad de las NPs en el contexto ambiental. Sin embargo, deben considerar las implicaciones potenciales de esta tecnología para abordar esta preocupación, proponen liderar investigaciones sobre la toxicidad y el desarrollo de resistencia bacteriana asociada a los nanomateriales, asegurando que las estrategias implementadas no comprometan la salud del ecosistema (Rai et al., 2009).

A partir de las respuestas de los PFLQ, se evidenció que la interacción más predominante es C-T, debido a que identificaron que la ciencia proporciona el conocimiento esencial para el desarrollo de la nanotecnología, lo que incluye avances específicos como el uso de AgNPs para la eliminación de patógenos en el agua, reflejando cómo la investigación científica facilita el surgimiento de tecnologías innovadoras que pueden aplicarse para mitigar la contaminación de fuentes hídricas, una necesidad urgente en el contexto de Tocancipá.

Además, destacaron que, al aplicar este conocimiento científico en el tratamiento del agua, la tecnología se convierte en una herramienta ambiental poderosa que aporta soluciones concretas a problemas complejos de contaminación, lo cual coincide con estudios como el de Baker et al. (2014), que evidencian el potencial de las AgNPs en la desinfección del agua debido a sus propiedades antimicrobianas. Sin embargo, los participantes también señalaron que, a pesar de sus ventajas, el uso de nanomateriales conlleva desafíos importantes a largo plazo, como la bioacumulación y la toxicidad potencial de estas partículas en el ambiente y en

organismos vivos (Nasrollahzadeh et al., 2020), este aspecto enfatiza que, aunque la tecnología ofrece soluciones innovadoras, su implementación requiere un manejo cuidadoso y una evaluación constante de sus efectos colaterales.

7.4. Análisis general del caso simulado

A partir de los análisis realizados, se concluye que la estructuración metodológica y el contexto controversial asociado a la actividad antimicrobiana de las AgNPs sintetizadas mediante un método verde en el caso simulado han generado un entorno educativo en el que se adopta una postura idealizada de los roles asignados, este contexto ha permitido a los PFLQ formular ideas, percepciones y opiniones dentro de un marco educativo específico, relevante en la coyuntura ambiental actual.

De igual manera, se logró una caracterización parcial de las interacciones de tipo plausible, consolidada en la tabla 8 y evaluada conforme a la rúbrica diseñada específicamente para este análisis. En el nivel plausible, los participantes muestran una comprensión general de los conceptos y articulan argumentos coherentes, no obstante, sus respuestas suelen carecer de detalles específicos o de un análisis profundo y completo, a menudo reconocen los beneficios y posibles impactos de la nanotecnología en los contextos ambiental y social, pero sin una exploración detallada de los mecanismos subyacentes o de los riesgos asociados.

En el nivel ingenuo se observó que tres grupos se ubicaron en esta categoría, debido a que sus respuestas mostraron un dominio adecuado de los conocimientos y una falta de apropiación conceptual, por lo que, los argumentos presentados fueron superficiales, sin establecer relaciones entre los conceptos, lo cual indica que, aunque los PFLQ conocen ciertos términos, no lograron integrarlos desde un enfoque práctico ni adaptarlos al rol específico asignado, además en lugar de construir respuestas analíticas y fundamentadas, los grupos se limitaron a definiciones básicas y aisladas, sin conectar los conceptos en un marco funcional y contextualizado.

En cuanto al nivel adecuado, se establece que cuatro grupos alcanzarán esta categoría debido a que lograron construir discursos con argumentos fundamentados, demostrando una comprensión aplicada del contenido. A diferencia de los grupos en el nivel ingenuo, estos estudiantes emplearon los conocimientos

de manera contextualizada, adaptando sus respuestas al rol específico que les correspondió, por lo que, la argumentación no solo demuestra un buen dominio de los conceptos, sino también la habilidad para relacionarlos de forma coherente y práctica dentro del contexto planteado y en lugar de limitarse a definiciones básicas, los PFLQ utilizaron ejemplos y justificaciones que evidencian un esfuerzo por profundizar en el tema, destacando su capacidad para conectar los conceptos teóricos con aplicaciones prácticas y pertinentes.

Tabla 88. Categorización según las respuestas presentadas por los PFLQ.

Roles	Preguntas	Interacción	Ingenuo	Plausible	Adecuado
Comité científico	P1	C-T	X		
	P2	T-S		X	
	P3	S-A		X	
	P4	C-T		X	
Investigadores	P1	C-T		X	
	P2	T-S			X
	P3	S-A		X	
	P4	C-T	X		
Comunidad	P1	A-C			X
	P2	T-S		X	
	P3	S-A			X
	P4	C-T			X
Gobierno local	P1	T-S	X		
	P2	T-S		X	
	P3	T-S			X
	P4	T-S		X	
CAR	P1	C-T			X
	P2	T-S		X	
	P3	T-S		X	
	P4	C-T		X	

Nota: Elaboración propia.

7.5. Análisis prueba de entrada y salida

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la prueba de entrada y la prueba de salida, este análisis permite observar los avances logrados por los PFLQ después de la aplicación del caso simulado y

brindar material de apoyo, destacando tanto el progreso en sus conocimientos como el establecimiento de las interacciones CTSA, dicha comparación entre ambas pruebas evidencia el nivel inicial en el que se encontraban los participantes, sus conocimientos y habilidades antes de la intervención, así como el nivel alcanzado posteriormente.

7.5.1. PREGUNTA 1

¿Cómo la capacidad de manipular la materia a escala atómica, como caso de la nanotecnología, está transformando nuestra vida cotidiana y abriendo nuevas posibilidades en campos como la medicina, la microbiología y la electrónica?

Las respuestas de los PFLQ ante la pregunta orientada a la interacción entre tecnología y sociedad, centrada en la nanotecnología, se identificó un progreso significativo en el nivel de profundidad conceptual alcanzado. El PFLQ13 mostró que se encuentra en el nivel ingenuo según la rúbrica de evaluación, puesto que señaló: *"Estas nuevas prácticas que se están llevando a cabo permiten añadir o mejorar las propiedades de ciertas partículas. Estos cambios resultan beneficiosos en la medida en que aportan nuevas características y abren nuevos campos al reconocimiento de materiales o insumos mucho más mejorados para la industria y la salud"*. Esta respuesta destaca ciertos beneficios prácticos y comerciales de la nanotecnología, tales como la optimización de materiales para la industria y la salud, pero carece de un análisis que abarque las dimensiones éticas, sociales o ambientales de estas tecnologías.

Tras la aplicación de la prueba de salida el PFLQ13 se situó en el nivel plausible, ya que, en su segunda respuesta, indicó: *"Esta transformación es perceptible porque las aplicaciones de la nanotecnología están mejorando los métodos de fabricación de los materiales, por ejemplo, reduciendo costos y, desde el campo de la medicina, se ha mejorado la eficacia de los fármacos. Además, estos materiales han optimizado técnicas reduciendo emisiones contaminantes, como la transición de la síntesis convencional de NPs a una síntesis verde, lo que tiene un impacto positivo en el medio ambiente. La versatilidad de las NPs también ha permitido aplicaciones comerciales específicas, como pinturas antimicrobianas y protectores solares más efectivos"*, reflejando una perspectiva más completa del impacto de la nanotecnología, abordando no solo su

aplicabilidad en diversos sectores, sino también su relevancia ambiental y las mejoras tecnológicas que promueven la sostenibilidad, sin embargo, aún se identifica una limitación en la profundidad de su análisis respecto a cómo estos avances tecnológicos impactan en términos de equidad en el acceso a la tecnología, bienestar social y salud pública, es decir, la evolución de la respuesta sugiere un proceso de aprendizaje en desarrollo, donde el participante ha comenzado a integrar conceptos clave de nanotecnología, pero requiere una mayor profundización para evaluar críticamente su impacto multidimensional en la sociedad.

7.5.2. PREGUNTA 2

¿Qué desafíos científicos y tecnológicos aún deben superarse para que la síntesis verde de nanopartículas se convierta en la metodología estándar en la industria nanotecnológica?

A partir del análisis de respuestas en relación con la pregunta orientada a la interacción entre ciencia, tecnología y sociedad en el contexto de la nanotecnología, el participante PFLQ6 demostró una comprensión limitada, inicialmente ubicada en el nivel ingenuo de acuerdo con la rúbrica de evaluación. En su primera respuesta, el participante comentó: *“Se debe procurar por el desarrollo de nuevos métodos que utilicen de alguna manera menos recursos o lo hagan de manera más eficiente, así mismo se debe investigar un poco más sobre la síntesis de nanopartículas y sus aplicaciones”* esta observación general, aunque señalaba un interés en la eficiencia y en la investigación de NPs, carecía de argumentos en relación con las implicaciones económicas y las dificultades técnicas en la síntesis de NPs.

Sin embargo, en la prueba de salida el PFLQ6 mostró un avance, logrando un nivel adecuado de comprensión al aportar una perspectiva más fundamentada sobre los beneficios y limitaciones de la síntesis verde de NPs, ya que detalló: *“La síntesis ecológica de nanopartículas presenta diversas ventajas desde el punto de vista de los beneficios ambientales y la sostenibilidad sin embargo, todavía existen numerosos desafíos científicos y técnicos que impiden que este enfoque se convierta en una práctica habitual o una metodología estándar dentro de la industria de la nanotecnología, uno de los*

principales desafíos es el control estricto del tamaño, la forma y la homogeneidad de las partículas, siendo el tamaño la variable con mayor facilidad de ser controlada, por otro lado en la síntesis ecológica, la variabilidad de las fuentes biológicas utilizadas, por ejemplo, extractos de plantas o microorganismos, puede influir en la consistencia de las nanopartículas. El otro desafío es la escalabilidad y reproducibilidad de los procesos, si bien los procesos más ecológicos son más viables a pequeña escala, la ampliación de dichos métodos a escala industrial se vuelve complicada debido a las dificultades en la estandarización de la calidad y la cantidad de extractos biológicos que se requerirán en la producción en masa de nanopartículas, además, la velocidad de reacción en la síntesis ecológica puede ser más lenta y menos eficiente en comparación con otras metodologías tradicionales, lo que es muy importante para que estas reacciones sean competitivas en cuanto a tiempo y productividad. Es muy importante mencionar que se requieren más estudios para explicar en detalle los mecanismos de reacción durante la síntesis ecológica y garantizar la estabilidad a largo plazo de las nanopartículas obtenidas, dichos avances tecnológicos en el control de las propiedades de las nanopartículas, la optimización de procesos y la mejora de la comprensión científica del material biológico utilizado serán cruciales para que la síntesis ecológica se convierta en una opción viable y de acceso generalizado.” Esto indica una comprensión detallada de los desafíos, como el control del tamaño, la forma y la homogeneidad de las partículas, la variabilidad de las fuentes biológicas, y los problemas de escalabilidad y reproducibilidad industrial.

Este progreso muestra una transición del participante hacia una perspectiva más analítica y detallada, lo que evidencia la interacción entre la ciencia y la tecnología, especialmente en el contexto de los métodos de síntesis convencionales y verdes de NPs.

7.5.3. PREGUNTA 3

La síntesis verde de nanopartículas se presenta como una alternativa más amigable con el medio ambiente. Compare y contraste los métodos convencionales y verdes para la producción de AgNPs, considerando criterios como la toxicidad de los reactivos y la generación de residuos.

En el análisis de las respuestas sobre la interacción entre ambiente y ciencia en el contexto de la nanotecnología, el PFLQ20 comenzó en un nivel ingenuo al reconocer solo parcialmente los inconvenientes ambientales de los métodos convencionales de síntesis de NPs, ya que en su respuesta expresó que: *“se comprende que los métodos convencionales usan compuestos tóxicos y, por lo tanto, perjudiciales para el medio ambiente, de difícil remoción y con larga vida media”*. Esta afirmación muestra que el participante identificó acertadamente el uso de compuestos tóxicos y su impacto ambiental general, aunque su análisis careció de un análisis de estos efectos o de alternativas sostenibles como la síntesis verde, lo cual podría haber enriquecido su respuesta.

Posteriormente, el participante avanzó al nivel plausible al brindar una respuesta más fundamentada: *“Resulta evidente que se requiere la implementación de alternativas amigables con el medio ambiente debido a la crisis climática y ambiental por la que estamos atravesando... Desde la síntesis verde de AgNPs, se pueden obtener por los métodos convencionales que suelen emplear mayor cantidad de reactivos químicos para su obtención que pueden llegar a ser altamente tóxicos, representando un mayor riesgo de acuerdo con el uso que se le pretenda dar...”*. Debido a que destaca que la síntesis convencional de AgNPs utiliza reactivos químicos que generan altos niveles de toxicidad y residuos, incrementando el impacto ambiental, en contraste, describe que la síntesis verde usa extractos de organismos vivos, los cuales son biodegradables y menos tóxicos, reduciendo así los riesgos de contaminación y las necesidades de manejo especial de residuos.

Aunque el análisis del participante muestra un avance, este podría consolidarse aún más mediante una explicación detallada de los mecanismos científicos específicos que sustentan la síntesis verde, así como incluir investigaciones previas que refuercen sus argumentos sobre las aplicaciones sostenibles de la nanotecnología, destacando una perspectiva que incorpore tanto el impacto ambiental como los fundamentos científicos de las prácticas sostenibles.

7.5.4. PREGUNTA 4

¿Cuáles serían los impactos sociales y ambientales de utilizar nanopartículas como agentes antimicrobianos para mitigar la presencia de bacterias como *E. coli* en cuerpos de agua, y cómo podría influir esta tecnología en la salud pública y en la gestión de recursos hídricos?

A partir del análisis de respuestas en relación con la pregunta orientada a la interacción entre sociedad y ambiente en el contexto de la nanotecnología, el PFLQ5 demostró estar en un nivel plausible, ya que menciona que: *“justamente era de lo que hablaba, las nanopartículas pueden servir para generar el estrés oxidativo de bacterias que causan un gran impacto a nuestra salud como la E.Coli, sin embargo, considero que debería realizarse estas prácticas en recursos hídricos los cuales tengan estudios demográficos que avalen un alto caso de infecciones por E.Coli, para así beneficiar a estas poblaciones y realmente generar un gran impacto social y de salubridad”*. Esta afirmación destaca el potencial de las NPs para combatir bacterias como *E. coli* en el agua y resalta sus beneficios para la salud pública; no obstante, se centra en un único aspecto de las NPs, el estrés oxidativo que estas inducen en las bacterias, sin considerar otros mecanismos de acción ni explorar la diversidad de nanopartículas disponibles, asimismo, no aborda los posibles impactos ambientales negativos, tales como la toxicidad para otros organismos acuáticos o la persistencia de las NPs en el medio ambiente.

No obstante, el participante avanzó hasta alcanzar un nivel adecuado, ya que señaló *“La aplicación de NPs antimicrobianas, especialmente las de plata y cobre, puede contribuir a la reducción de patógenos en el agua, lo que podría disminuir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua...La utilización de métodos de síntesis verde para producir NPs puede incentivar prácticas más responsables en la industria...La introducción de tecnologías avanzadas como las NPs antimicrobianas puede aumentar la conciencia sobre la contaminación del agua y la importancia del tratamiento adecuado...Existen preocupaciones sobre la toxicidad de las NPs para organismos acuáticos...hay riesgos asociados a su bioacumulación en cadenas alimenticias, lo que podría tener repercusiones en la salud humana y animal...La implementación efectiva de tecnologías basadas en NPs*

podría reducir significativamente los costos sanitarios relacionados con enfermedades transmitidas por el agua, al disminuir la carga patógena...La capacidad de las NPs para eliminar contaminantes microbianos puede facilitar el tratamiento del agua residual, mejorando su calidad antes de ser reintroducida al medio ambiente o utilizada para riego agrícola.” Debido a que estableció conexiones entre los aspectos científicos, como las NPs y la microbiología; los tecnológicos, referidos a su aplicación; y los sociales y ambientales, relacionados con la salud pública y el impacto en ecosistemas acuáticos, se destaca que considera tanto los impactos positivos como negativos, reflejando comprensión del tema.

7.5.5. PREGUNTA 5

¿Cómo se relaciona la tonalidad y el factor de forma de las AgNPs con su pico de absorción en el espectro UV-Vis?

A partir de las respuestas de los PFLQ, esta pregunta se enfocó en el dominio conceptual de la caracterización de nanomateriales, especialmente en la relación entre la tonalidad y el factor de forma de las AgNPs, para identificar si los participantes alcanzaron distintos niveles de comprensión sobre estos conceptos, los niveles de análisis fueron definidos como ingenuo, plausible y adecuado.

Durante la implementación del caso simulado, se evidenció un progreso significativo en los conocimientos, inicialmente, en la prueba de entrada, el PFLQ2 demostraba un conocimiento básico y limitado de los conceptos, ya que expresaba que: *“El factor de forma y la tonalidad se relacionan de modo que las contribuciones de absorción y dispersión proporcionan información sobre el tamaño y la forma de la nanopartícula. Específicamente, el factor de forma servirá como una medida de la geometría, denotando que, si el factor de forma es bajo, la forma será más esférica. Por otro lado, si el factor de forma es alto, la geometría será alargada o irregular”*. Esta respuesta estaba en el nivel ingenuo, ya que, aunque se mencionan conceptos relevantes, la explicación en cuanto a la relación entre el factor de forma y el espectro UV-Vis de las AgNPs no se evidencia.

Posteriormente, en la prueba de salida, tras la implementación del caso simulado, el PFLQ2 demostró una comprensión avanzada,

respondiendo: “Las NPs metálicas poseen una propiedad llamada resonancia plasmónica de superficie que se refiere a que, al irradiar las NPs con luz, los electrones en la superficie oscilan con la luz incidente. Este fenómeno provoca un pico de absorción característico en el espectro UV-Vis, el cual es sensible a las propiedades físicas de las AgNPs, como su tamaño y forma. Por otra parte, la interacción de la luz con las NPs genera un color visible debido a la absorción y dispersión de la luz en el rango del espectro visible. Así, la tonalidad visible de las NPs está relacionada con su tamaño y forma debido a la resonancia plasmónica de superficie, que define el pico de absorción en el espectro UV-Vis”. Esta respuesta evidenció un avance significativo al alcanzar el nivel adecuado, donde el PFLQ2 dejó en evidencia una comprensión de la relación entre la estructura y las propiedades ópticas de las AgNPs, manejando conceptos clave, no solo proporcionó una explicación técnica detallada sin errores conceptuales, sino que estructuró su respuesta de manera clara y coherente.

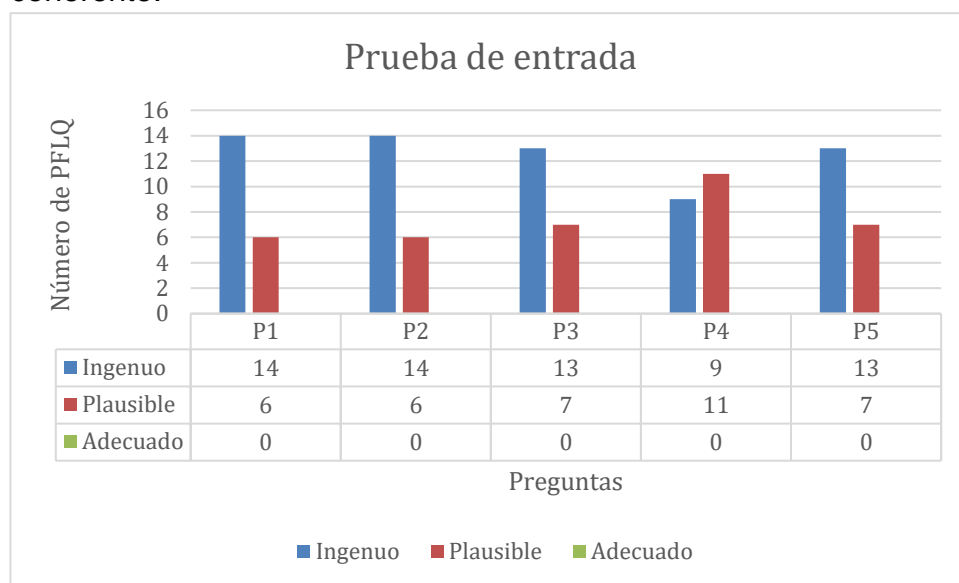


Figura 12. Desempeño de los PFLQ en la prueba de entrada. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la prueba de entrada (figura 12) indican que 14 de los 20 PFLQ se ubicaron en el nivel ingenuo en las preguntas, sin que ninguno alcanzara el nivel adecuado, debido a que existen vacíos en sus conocimientos previos sobre nanotecnología, esta situación era predecible, dado que el programa analítico de la licenciatura incluye únicamente un espacio académico relacionado con la nanotecnología, en el último núcleo temático de Sistemas

Inorgánicos II, que por lo general no se alcanza a abordar en su totalidad. En cuanto al nivel plausible aproximadamente 7 PFLQ lograron demostrar un dominio de conceptos generalizado en la explicación de estas áreas y no abordaron adecuadamente las implicaciones científicas, éticas y sociales ni la importancia del uso responsable de esta tecnología.

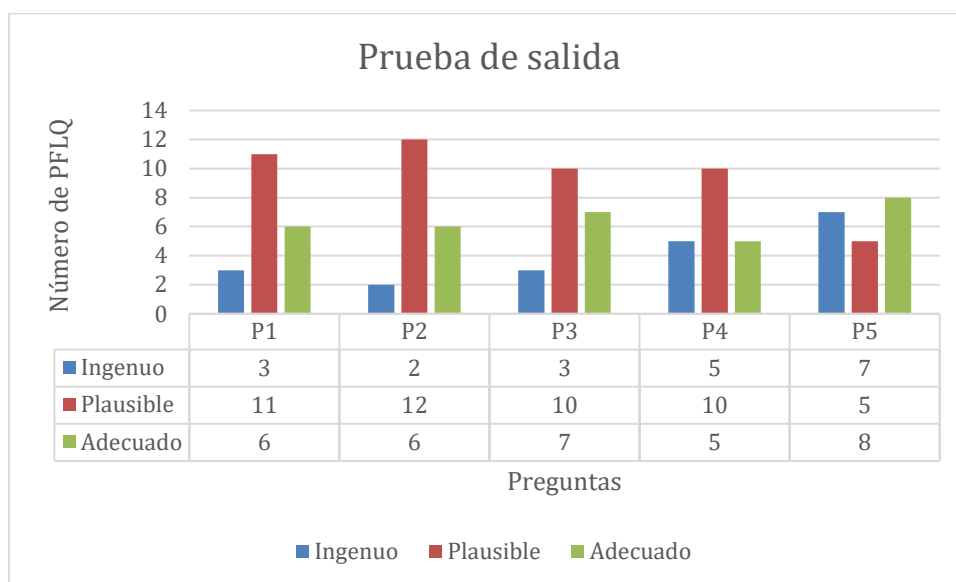


Figura 13. Desempeño de los PFLQ en la prueba de salida. Fuente: Elaboración propia.

La notable disminución de respuestas en el nivel ingenuo (figura 13) refleja un impacto positivo de la intervención con el caso simulado, lo que indica que los participantes han superado las concepciones iniciales más generales y han avanzado en su comprensión, por lo que el aumento considerable en las respuestas ubicadas en el nivel plausible sugiere que los participantes han desarrollado una capacidad intermedia para reflexionar sobre las complejidades de las interacciones CTSA, por otro lado, la aparición de respuestas en el nivel adecuado, que estaban ausentes en la prueba de entrada, indica un progreso en la capacidad de los participantes para integrar de manera adecuada los aspectos científicos, tecnológicos y socioambientales.

8. CONCLUSIONES

Con base en la pregunta problema y los objetivos planteados en este trabajo de grado, se concluye que:

- La síntesis verde de AgNPs utilizando extracto de ajo (*Allium sativum*) ha demostrado ser un método eficiente y ecológico, este proceso se evidenció por el cambio de color de la solución, que pasó de transparente a marrón-amarillo, indicando la formación de las NPs, empleando la técnica de disoluciones coloidales y basándose en el enfoque Bottom-Up. La caracterización por medio de la técnica analítica de espectroscopia UV-Vis demostró una banda de adsorción, con una longitud de onda máxima de absorción de 398 nm, correspondiente a la Resonancia del Plasmón Localizado en Superficie (RPLS), lo que confirmó la presencia de AgNPs lo cual concuerda con la literatura que señala que las bandas de absorción en el espectro alrededor de longitudes de onda de 390 a 450 nm son características de NPs metálicas (Morales et al., 2009).

Adicionalmente, se evaluó la actividad antimicrobiana de las AgNPs mediante la prueba de difusión por disco con la bacteria gram negativa *Escherichia Coli*, que mostró halos de inhibición de aproximadamente 0,02 cm tras 48 horas de contacto con discos impregnados con AgNPs, estos resultados evidencian el efecto antimicrobiano de las NPs sintetizadas, destacando su potencial aplicación en el tratamiento de bacterias específicamente la *Escherichia Coli*.

Por otro lado, la síntesis verde de AgNPs a partir del extracto de *Allium sativum* permitió que los PFLQ pudieran integrar las implicaciones de esta tecnología emergente en sus discursos y reflexionar sobre sus beneficios y riesgos, reforzando así la capacidad de análisis crítico que se espera de un educador en ciencias, esto subraya la relevancia de vincular el conocimiento teórico con su aplicación práctica, preparando a los profesores en formación para abordar desafíos ambientales contemporáneos.

- La estrategia didáctica del caso simulado permitió vincular el trabajo experimental con un problema socioambiental relevante para los PFLQ, a través de esta estrategia, se lograron afirmaciones acertadas y coherentes que reflejaron las interacciones CTSA desde perspectivas tanto positivas como negativas. En términos generales, se pudo evidenciar que la aplicación de AgNPs en la descontaminación de aguas implica diversas interacciones: científicas, debido a los análisis y variables que se deben controlar al momento de sintetizar; tecnológicas, por el uso de las AgNPs ; y socioambientales, debido al impacto que la nanotecnología puede generar en estas dimensiones de la vida humana, finalmente la estructura del caso

permitió que los profesores en formación asumieran diferentes roles y analizarán de manera argumentativa los beneficios y riesgos asociados a la implementación de AgNPs sintetizados desde una técnica verde fortaleciendo de modo notable su capacidad de análisis y razonamiento crítico frente a problemas socioambientales actuales.

- La implementación del caso simulado facilitó la identificación y análisis de las interacciones CTSA en el grupo PFLQ, por lo que en los resultados se evidenció una notable mejora en la capacidad de los participantes para vincular el conocimiento científico con sus implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales, este avance quedó reflejado en la evolución de las respuestas de los participantes, pasando de niveles ingenuos a respuestas plausibles y adecuadas en la prueba de salida, esto no solo fomentó una mayor conciencia sobre los impactos sociales y ambientales de la nanotecnología, sino que también contribuyó así a la formación de ciudadanos más críticos y responsables.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se evidencia que las interacciones percibidas mayoritariamente en el nivel adecuado desde una perspectiva netamente instrumental fueron:

La interacción predominante, especialmente percibida en el nivel adecuado de la prueba de salida, fue la relación entre ambiente y ciencia, desde esta perspectiva, el conocimiento científico se destacó como la base para abordar los problemas ambientales, ahora la ciencia fue percibida como una herramienta esencial para analizar el impacto humano en el entorno y generar soluciones sostenibles, finalmente los profesores en formación subrayaron el rol de la educación en desarrollar una conciencia crítica sobre los problemas ambientales y el papel de la ciencia en impulsar el cambio, lo que resalta la relevancia de la interrelación entre ciencia y soluciones ambientales.

Asimismo, la interacción entre ambiente y sociedad fue la más destacada en el caso simulado, los PFLQ demostraron una habilidad notable para conectar el conocimiento científico con sus implicaciones sociales y ambientales, argumentando sobre los riesgos y repercusiones de la degradación ambiental en las comunidades, el enfoque crítico de los participantes los llevó a reconocer la necesidad de soluciones sostenibles, como las tecnologías innovadoras, para reducir el impacto ambiental.

Por otro lado, las interacciones entre ciencia y tecnología, así como entre tecnología y sociedad, se evidenciaron tanto en el desarrollo del caso simulado como en las respuestas de la prueba de salida, sin embargo, aunque estas interacciones estuvieron presentes en las reflexiones y argumentos de los PFLQ, no alcanzaron la misma frecuencia y no se obtuvo un lenguaje adecuado que facilitara describir, relacionar e interpretar la situación planteada a diferencia de las otras interacciones mencionadas anteriormente.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Acevedo, J. A (1996). La formación del profesorado de enseñanza secundaria y la educación CTS. Una cuestión polémica. Revista Universitaria de formación del profesorado.

- Acevedo, J., Manassero, M. A., & Vázquez, A. (2005). Análisis cuantitativo de ítems complejos de opción múltiple en ciencia, tecnología y sociedad: Escalamiento de ítems. *Revista Electrónica de Investigación Educativa (REDIE)*, 7(1).
- Bender, E, y Bárcenas, M. (2013). El ajo y sus aplicaciones en la conservación de alimentos.
- Berlanga Mora, I. (2013). Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D.
- Bermúdez, J., & Villamil, O. (2021). Influencia de la nanotecnología en los materiales de construcción para obras civiles.
- Britto, R., Cortez, M., & Flores, M. (2022). Aplicaciones tecnológicas de las nanopartículas en la medicina e industria. *Epistemus*, 16(33). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.223>
- Bustamante, R., & Salazar, J. (2019). Educación ambiental y participación ciudadana en la gestión de recursos hídricos: un enfoque de sostenibilidad. En *Gestión y sostenibilidad ambiental* (pp. 145-162). Editorial Universitaria.
- Camacho, D., & Deschamps, L. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para aplicación antimicrobial [Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional-Universidad de Cartagena.
- Cardeño Calle, L., & Londoño, M. E. (2014). Síntesis verde de nanopartículas de plata mediante el uso del ajo (*Allium sativum*). *Revista Soluciones de postgrado EIA*, 6(12).
- Chambi, S. A. C., Mamani, N. S. C., Caceres, T. C. P., & Mamani, S. S. M. (2023). Efecto antibacteriano del extracto de ajo (*allium sativum*) y té verde (*camelia sinensis*) sobre *streptococcus mutans* a las 24 y 48 horas en placa bacteriana bucal. *revista científica especialidades odontológicas UG*, 6(1), 1-9.
- Esquivel, C., & Mas, S., (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 23-45.
- Fernandes, I. M., Pires, D. M., & Villamañán, R. M. (2014). Educación científica con enfoque ciencia-tecnología-sociedad-ambiente: construcción de un

instrumento de análisis de las directrices curriculares. Formación universitaria, 7(5), 23-32.

Foladori, G., & Invernizzi, N. (2005). Nanotechnology in its Socioeconomic Context. Tomado de: <https://sciencetechnologystudies.journal.fi/article/view/55180>

Gebreyohannes. G. & Mebrahtu, G. (2013). Medicinal values of garlic: A review. International Journal of Medicine and Medical Sciences, voy. 5(9), 402-403. https://www.researchgate.net/publication/291766366_Medicinal_values_of_garlic_A_review

Gómez, G. L. (2013). Nanopartículas de plata: tecnología para su obtención, caracterización y actividad biológica. Investigación en discapacidad, 2(1), 18-22.

Gómez, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. Revista Repertorio de Medicina y Cirugía, 27(2).

Guedon D.J, Pasquier BP, (1994). Analysis and distribution of flavonoid glycosides androsmarinic acid in 40 Menthapiperitacloes. JAgrFoodChem 42(3):679-684.

Harris, J., Cottrell, Plummer, & Lloyd. (2001). Antimicrobial properties of Allium sativum (garlic). Applied microbiology and biotechnology, 57(3), 282–286. <https://doi.org/10.1007/s002530100722>

Hernández, M. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con Opuntia sp. y su incorporación en membranas poliméricas nanofibrosas. Centro de Investigación en Química Aplicada.

Herrera, M. L. (1999). Pruebas de sensibilidad antimicrobiana: metodología de laboratorio. Revista médica del Hospital nacional de niños Dr. Carlos Saenz Herrera, 34, 33–41. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1017-85461999000100010

Ibarra, C. (2024). (3-5 de enero 2024). *XI Encuentro CTS-2024 Oscilaciones* [Sobre estar aquí hoy: una propuesta de sentido para CTS]. Congreso de La Serena Región de Coquimbo, Chile.

Josling, P. (2005). Allicin - the Heart of Garlic Nature's Aid to Healing the Human Body. Allimax Nutraceuticals US.

- Krause, M. (1995). La investigación cualitativa: un campo de posibilidades y desafíos.
- Link, S. y El-Sayed, MA (1999) Dependencia del tamaño y la temperatura de la absorción de nanopartículas de oro coloidal por plasmones. *The Journal of Physical Chemistry B*, 103, 4212-4217. <https://doi.org/10.1021/jp984796o>
- Liu, R., & Zhao, J. (2013). "The role of engineered nanoparticles in environmental remediation." *Environmental Science: Nano*, 1(1), 70-85. DOI: 10.1039/C3EN00066K
- López, D. M. NANOMATERIALES: nuevas propiedades.
- Martínez Pérez, L. F., y Parga Lozano, D. L. (2013). La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 8(1), 23–35.
- Martínez, J. A., & Pérez, R. (2012). La formación ciudadana y el aprendizaje de las ciencias: El papel de la educación ambiental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 225-242. <https://www.redalyc.org/pdf/834/83445564005.pdf>
- Martínez, L y Rojas, A. (2006). Estrategia didáctica con enfoque ciencia, tecnología sociedad y ambiente, para la enseñanza de tópicos de bioquímica. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología: Tecne, Episteme y Didaxis*. n. 19, p. 44-62.
- Martínez, L. F., Peñal, D. C., & Villamil, Y. M. (2008). Relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente a partir de casos simulados: una experiencia en la enseñanza de la química. *Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)*, 1.
- Meriga, B., Mopuri, R., & MuraliKrishna, T. (2012). Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(5), 391–395.
- Monge, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de Química de la RSEQ*, (1), 33-41.
- Morales, J., Morán, J., Quintana, M., & Estrada, W. (2009). Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(2), 177-184.

- Nasrollahzadeh, M. (2020). Nanomateriales: síntesis ecológica para aplicaciones en agua. En M. Nasrollahzadeh y K. Zeynali (Eds.), Síntesis ecológica de nanomateriales y sus aplicaciones (pp. 1-16).
- Navarro, E., Baun, A., Behra, R., et al. (2008). "Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles." *Ecotoxicology*, 17(4), 372-386. DOI: 10.1007/s10646-008-0232-6
- Noriega-Treviño, M. E., González, C. C. Q., Pacheco, J. M. G., Sánchez, J. E. M., Jasso, M. E. C., & Ruiz, F. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. *Tecnología y ciencias del agua*, 3, 87-100.
- Nowack, B., & Bucheli, T. D. (2007). "Occurrence, behavior and effects of engineered nanoparticles in the environment." *Environmental Pollution*, 150(1), 5-22. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.06.006
- OMS. (2018). E. Coli.
- Pardo, L., Arias, J., & Molleda, P. (2022). Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extracto de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y su uso como conservante. *Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 45-58.
- Pilaquinga F., M., Pazmiño, K., V., Robalino T., A., Jara N., E., López F., F., Meneses O., L., Vizuete A., K., & Debut M., A. (2019). Síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo (*Allium sativum*). *Infoanalítica (Quito - Impresa)*, 7(2), 41–55.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2019). Informe sobre el Medio Ambiente Mundial 2019: Hacia un planeta más sostenible. Nairobi: PNUMA. <https://www.unep.org/>
- Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología. Un mundo pequeño. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación, 42, 125–155. *Revista Temas de Educación*, nº 7.
- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76-83. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002.
- Ribelles, M. D., Solbes, J., & Vilches, A. (2010). Las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad en la enseñanza de las ciencias: Una revisión de la

literatura. Revista Española de Educación Científica, 32(1), 145-158.
<https://www.redalyc.org/pdf/815/81502201.pdf>

- Rojas, A. N. G., Regalado, I. P. E., Dávila, L. M. R., Llerena, H. R. C., & Rojas, A. L. I. (2020). Actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata contra bacterias fitopatógenas. Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan, 8, 2-7.
- Salazar, A. R. & Garizado, J. (2018). Anti-nutrientes como inhibidores de minerales una cuestión socio-científica para promover relaciones CTSA en profesores en formación inicial.
- Sánchez Moreno, M. (2017). Nanopartículas de plata: preparación, caracterización y propiedades con aplicación en inocuidad de los alimentos. Universidad nacional de educación a distancia, Departamento de química inorgánica y química técnica.
- Sánchez, F. E. V., Molina, W. E. M., Aguilar, M. C. A., Chantong, A. A. L., & Barcia, D. D. D. (2021). Síntesis verde de nanopartículas de Plata (AgNPs) utilizando ajo (*Allium Sativum* L) explorando su actividad antimicrobial y catalíticas. FACSALUD-UNEMI, 5(8), 39-50.
- Santorum, N. (2017). «Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata empleando el extracto de las hojas de Matico (*Piper aduncum*) como un agente reductor». Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Saxl, O. (2004). Nanotecnología: una tecnología clave para el futuro de Europa. Madrid.org. <https://www.madrid.org/media/mtec/1-ESP-nanotecnologia.pdf>
- Schmid, G. 2004. Nanoparticles. From theory to application. Weinheim: Wiley-VCH
- Science (1991), "Engineering a small world: From atomic manipulation to microfabrication" (sección especial), 254, 1300-1342
- Serra, A., Filippo, E., Re, M., Palmisano, M., Vittori-Antisari, M., Buccolieri, A. y Manno, D. (2009). Nanopartículas de plata no funcionalizadas para un sensor de glucosa basado en resonancia de plasmón de superficie localizado. Nanotecnología, 20 (16), 165501.
- Soles, J., & Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 337-347.

- UNESCO (2017). Ciencia para el Cambio Climático: Guía para Educadores. París: UNESCO. <https://www.unesco.org/en/climate-change>
- Vázquez-Muñoz, R., & Takeuchi, N. (2017). Enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria: teoría y práctica. *Momento*, (54E), 38-50.
- Vilches, A. (2015). La alfabetización científica: Un enfoque sociocultural para la enseñanza de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 72(1), 1-16. <https://www.redalyc.org/pdf/5043/504373489006.pdf>
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 5(1), 69-81.

10. ANEXO

Anexo 1. Caso simulado

Alarma en el sector de Tocancipá: Habitantes afectados por contaminación y autoridades buscan soluciones urgentes.

La cuenca alta del río Bogotá específicamente en el municipio de Tocancipá se encuentra en estado de alerta ante una alarmante situación de contaminación que ha generado graves problemas de salud en los habitantes de la zona, debido al consumo de agua contaminada provocando un aumento significativo de casos de enfermedades gastrointestinales, con sintomatología de diarrea, vómito y dolor abdominal. Los más afectados son niños y adultos mayores, más propensos a desarrollar complicaciones graves por estas enfermedades, la situación ha preocupado a los habitantes, que exigen a las autoridades medidas urgentes para solucionar el problema.

La alcaldía del municipio ha expresado su profunda preocupación por la situación y ha reconocido la falta de recursos y conocimiento para abordarla de manera efectiva, por tal motivo han hecho un llamado urgente a las entidades nacionales y a la comunidad científica para que brinden apoyo en la búsqueda de soluciones.

Un equipo de investigadores de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) se ha movilizado a la zona para investigar las causas de la contaminación y evaluar el impacto en la salud de la población. Los estudios preliminares han identificado una proliferación de bacterias en el agua, siendo la *Escherichia coli* la principal responsable de las enfermedades gastrointestinales, sin embargo, los investigadores no descartan la presencia de otros contaminantes como que podrían estar agravando la situación.

Conscientes de la gravedad del problema, los investigadores de la UPN han decidido involucrar a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) en la búsqueda de soluciones. Por otro lado, la Comisión Científica Nacional también se ha sumado a la iniciativa, aportando su experiencia y conocimiento para encontrar una alternativa viable para descontaminar el agua.

Una alternativa prometedora es el uso de AgNPs sintetizadas con extractos de ajo (*Allium sativum*), esta sinergia aprovecha las propiedades antimicrobianas de la plata y la alicina, lo que permite que las AgNPs penetren eficazmente la membrana

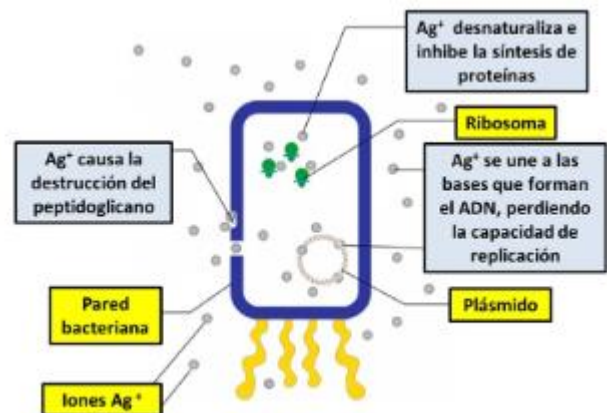


Figura 1. Mecanismo de acción de los iones Ag^+ . Imagen adaptada de referencia (Chaloupka et al., 2010)

bacteriana, desnaturalizando proteínas y dañando el ADN (Figura 1). Además, inducen al estrés oxidativo a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que conduce a la muerte celular bacteriana, esta combinación ha demostrado ser especialmente eficaz contra bacterias gramnegativas, como *E. coli*, al atacar múltiples blancos celulares de forma simultánea.

Estas nanopartículas poseen propiedades antimicrobianas que podrían ayudar a eliminar las bacterias del agua y prevenir la proliferación de enfermedades, sin embargo, se requieren estudios más profundos para evaluar la eficacia y seguridad de esta propuesta.

Para comprobar esta hipótesis, los científicos sintetizaron las nanopartículas y las caracterizaron por el método de espectroscopía UV-Vis, a partir de la cual se obtiene

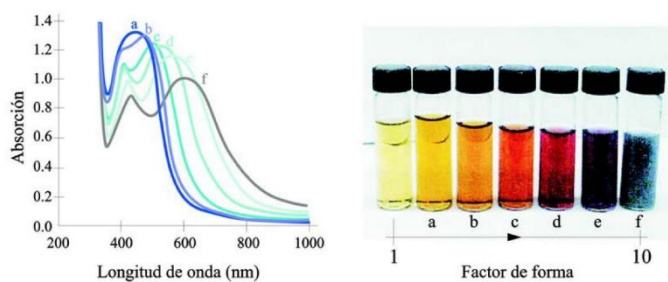


Figura 2. Nanomateriales: el tamaño de los materiales tiene importancia. Tomado de: M. Elices. (2012)

un espectro de extinción plasmónica (Figura 2), que viene siendo una representación gráfica que muestra cómo las nanopartículas interactúan con la radiación electromagnética en esta región del espectro, combinando las contribuciones de absorción y dispersión de la radiación (Gran, Auguie & Le

Ru, 2015), esto permite proporcionar información sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas. De acuerdo con la figura 2 también se puede evidenciar que en la región de los 400 nm se evidencia presencia de AgNPs.

Ahora bien, el espectro (Figura 3) confirma la anterior afirmación debido a que el pico obtenido fue de 398 nm, posteriormente se realizaron pruebas de sensibilidad antimicrobiana con la bacteria *E. coli*, observando una potente actividad antimicrobiana (Figura 4).

Las AgNPs al ofrecer una alternativa para tratar aguas contaminadas, los investigadores decidieron tomar muestras de agua del río Bogotá para realizar análisis de actividad antimicrobiana y así determinar la efectividad de las AgNPs contra las bacterias presentes en esta, de igual manera, se está evaluando el impacto

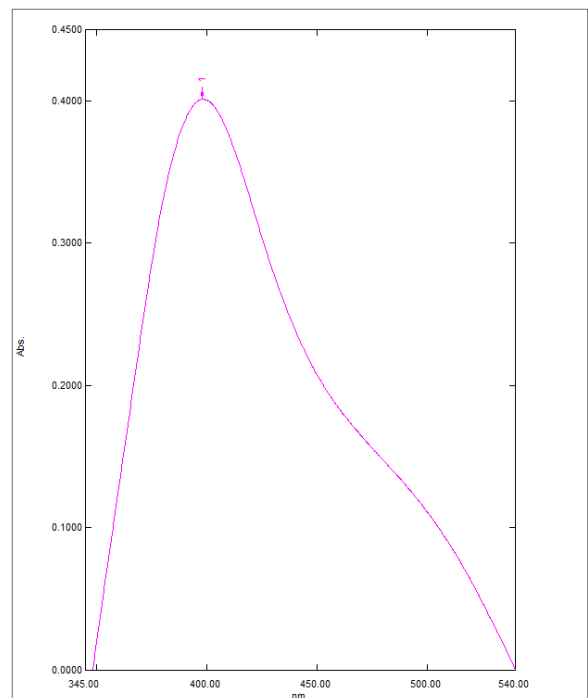


Figura 3. Espectro de UV-Vis de AgNPs sintetizadas con *Allium Sativa*.

ambiental de esta propuesta para garantizar que no se generen nuevos daños ambientales.

Las AgNPs han emergido como potentes agentes antimicrobianos debido a sus múltiples mecanismos de acción principalmente la liberación gradual de iones de plata, su pequeño tamaño, que oscila entre 2 y 10 nm según el pico espectral, junto con su alta área superficial, les permite interactuar de manera eficaz con las bacterias (Link & Sayed, 1999). Además del tamaño, la forma de las AgNPs influye en su actividad antimicrobiana, entre más pequeña sean NPs mayor será el área superficial permitiéndoles mayor efectividad, aunque su síntesis y estabilización pueden ser más desafiantes.

Estas NPs se emplean en diversas aplicaciones como en el campo de la salud, recubrimientos antimicrobianos para dispositivos médicos y textiles, sin embargo, es importante considerar las posibles limitaciones de su uso, como la toxicidad para las células y el desarrollo de resistencia bacteriana. A pesar de estos desafíos, las AgNPs representan una prometedora herramienta para combatir infecciones bacterianas y mejorar la salud pública.

Los resultados obtenidos (Figura 4) demuestran la eficacia antimicrobiana de las AgNPs contra *E. coli.*, la presencia de halos de inhibición de 0.2 cm alrededor de los discos impregnados con AgNPs a una concentración de 0.005 M confirma la sensibilidad de la bacteria.

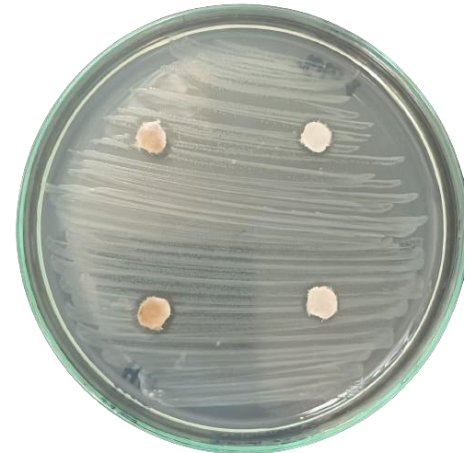


Figura 4. Pruebas indican sensibilidad del microorganismo a las AgNPs. Fuente propia.



Figura 5. Control de negativo de AgNPs. Fuente propia.

A diferencia del control negativo (Figura 5), donde no se observó inhibición, estos resultados corroboran los hallazgos de estudios previos, como el de Khaydarov (2009), sobre la eficacia de las AgNPs de menor tamaño contra bacterias Gram negativas. La capacidad de las AgNPs para inhibir el crecimiento bacteriano y desestabilizar biopelículas, junto con su potencial para ser incorporadas en filtros, las convierte en una posible solución para la descontaminación de aguas, al impregnar filtros con AgNPs de tamaño óptimo utilizando el método de Agar Mueller Hinton se podría desarrollar una tecnología sostenible y de bajo costo para purificar aguas contaminadas, como las de la cuenca alta del río Bogotá.

Si bien el estudio de Esquivel (2021) sugiere que las AgNPs sintetizadas a partir de extracto de *Allium Sativum* presentan una forma predominantemente esférica y un

tamaño que oscila entre 7.9 y 15.4 nm. Es crucial recordar que la morfología de las nanopartículas puede variar y, por consiguiente, influir en su eficacia antimicrobiana. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación respaldan el potencial de las AgNPs sintetizadas con extracto de ajo como una alternativa viable para descontaminar fuentes de agua contaminadas por bacterias como *E. coli*. En efecto, la presencia de halos de inhibición en las pruebas de sensibilidad antimicrobiana evidencia la capacidad de estas nanopartículas para inhibir el crecimiento bacteriano.

Investigaciones previas han destacado la importancia de evaluar la toxicidad de las AgNPs, especialmente en ambientes acuáticos y terrestres, debido a su bioacumulación y los efectos adversos que podrían generar en organismos vivos y ecosistemas. Para optimizar su aplicación y comprender mejor su impacto, futuros estudios experimentales deberían considerar variables como la temperatura, que influye en la velocidad de reacción, el tamaño, la forma y la estabilidad de las nanopartículas; el pH, cuyas variaciones pueden modificar sus propiedades superficiales, afectando su reactividad, actividad antimicrobiana y toxicidad; y la agitación, que incide en la distribución de tamaño y dispersión de las AgNPs, influyendo en su comportamiento en aplicaciones industriales y ambientales.

En conclusión, la implementación de esta tecnología, combinada con medidas de prevención y educación ambiental, representa una estrategia prometedora para mejorar la calidad del agua y la salud pública en regiones que son aledañas a la cuenca alta del río Bogotá, no obstante, es imperativo abordar esta problemática de manera integral, involucrando a las autoridades, la comunidad científica y la población en general. Solo a través de un esfuerzo conjunto se podrá garantizar un futuro más sostenible y saludable para el municipio.

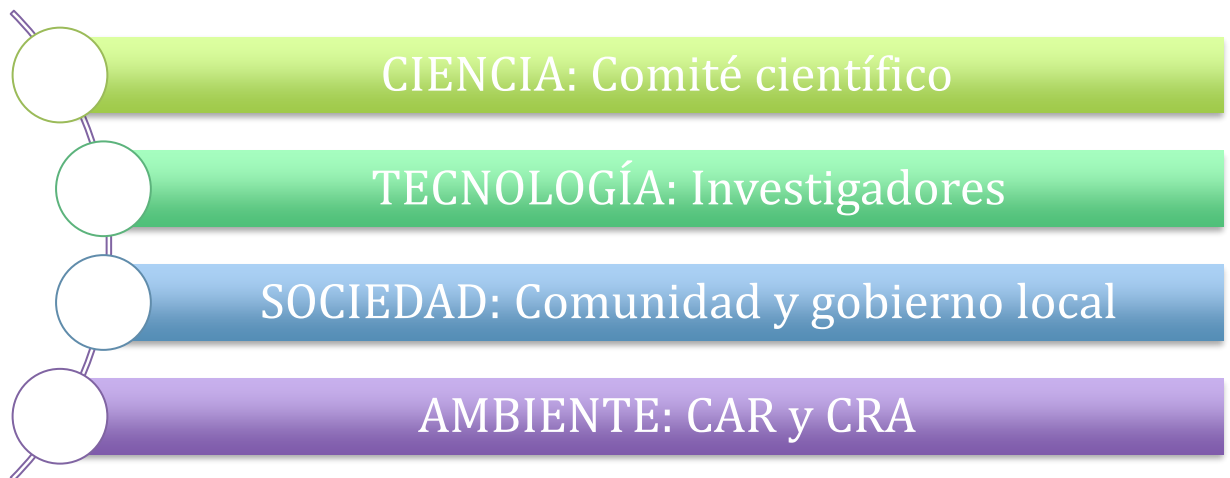
Preguntas orientadoras

1. ¿De qué manera los avances científicos en nanotecnología pueden aportar a la solución de la situación ambiental de la calidad de agua por proliferación de bacterias en la cuenca alta del río Bogotá, en particular el sector que colinda con el municipio de Tocancipá?
2. ¿Cómo influye el desarrollo tecnocientífico en la percepción y las acciones de la sociedad ante el caso de Tocancipá?
3. ¿Cómo ha afectado la contaminación del agua en el municipio de Tocancipá, la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, especialmente de los grupos más vulnerables?

4. ¿Qué desafíos se generan a partir del desarrollo científico y tecnológico de nanomateriales para mitigar los efectos a corto, mediano y largo plazo de la situación descrita en el municipio Tocancipá?

Roles

La grave situación en el municipio de Tocancipá, ubicado en la cuenca alta del río Bogotá, donde la contaminación ha generado graves problemas de salud en la población, requiere una respuesta integral que involucre a diversos actores y aborde el problema desde múltiples perspectivas.



Comité científico: Un comité científico interdisciplinario, conformado por expertos en diversas áreas como la biología, la química, la ingeniería y la salud pública, debe aportar su conocimiento y experiencia para encontrar soluciones innovadoras y sostenibles para la descontaminación del río.

Investigadores: Un equipo de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) se ha desplazado a la zona afectada para realizar un diagnóstico exhaustivo de la crisis de contaminación. Además de identificar las causas del problema, están investigando y desarrollando soluciones innovadoras para abordar y mitigar la contaminación de manera efectiva.

Habitantes de la zona de la cuenca alta: Los habitantes son los más afectados por la contaminación del río y deben ser partícipes activos en la búsqueda de soluciones. Se debe fomentar su participación en la toma de decisiones y en la implementación de acciones para proteger el río.

Gobierno local: La alcaldía del municipio debe tomar medidas urgentes para abordar la crisis, como invertir en infraestructura de saneamiento, promover la educación ambiental y trabajar con la comunidad para reducir la contaminación.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR): Como autoridad ambiental, la CAR tiene la responsabilidad de proteger el río Bogotá y garantizar su uso sostenible. Debe liderar la investigación de las causas de la contaminación, establecer medidas de control y sanción, y promover prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles en la cuenca.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA): La CRA debe velar por la calidad del agua potable y el saneamiento básico en la zona. Debe trabajar con las entidades locales para asegurar el acceso a agua potable segura y el tratamiento adecuado de las aguas residuales.

La crisis del río Bogotá es un problema complejo que requiere una respuesta integral y multisectorial. Solo a través de la colaboración entre las autoridades ambientales, la sociedad civil, el gobierno local, la comunidad científica y los profesionales de la salud se podrá encontrar una solución sostenible que garantice la salud del río y el bienestar de las personas que dependen de él.

Material bibliográfico de apoyo

- Contaminación ambiental en la Cuenca Alta Del río Bogotá: La solución no es cerrar Las empresas de curtiembres. (2021). Issuu. Tomado de: https://issuu.com/acopibogotacundinamarca/docs/revista_id-completa/s/12221526
- Esquivel-Figueroa, R. D. L. C., & Mas-Diego, S. M. (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 23-45. Tomado de: <https://www.redalyc.org/journal/4435/443568186002/html/>
- Gobernación de Cundinamarca., Secretaría de Ambiente. & Universidad de La Salle. Estrategias de Producción Más Limpia en la Cuenca Alta del Río Bogotá. (2016). Tomado de: <https://www.orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/estrategias-de-produccion-mas-limpia-en-la-cuenca-alta-del-rio-bogota>
- González, M. (2012). Síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando sábila (*A. barbadensis* Miller) y ajo (*A. Sativum* L.) y su aplicación biotecnológica. Tomado de: http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/5124/Gonzalez_Torres_M_MC_IAS_%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guzmán, N. Revisión del estado de avance de las aplicaciones de la nanotecnología para la reducción de contaminantes presentes en los vertimientos de la industria textil. [Título de especialista en gestión ambiental, Universidad de América]. Repositorio institucional de la Universidad de América. Tomado de: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9124/1/5656272-2022-II.GA.pdf>
- Moreno, M., Yanchapanta, E., Alvarez, M. & Dávalos, R. (2022). Síntesis verde de nanopartículas de plata como agente bactericida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico. *Dominio De Las Ciencias*. Tomado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635182>.
- Noriega, M, Quintero, C, Guajardo, M, Morales, E, Compeán, E, & Ruiz, F. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compuestas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, III (), 87-100. Tomado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531980006>

- Pilaquina, M., et al. "Síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo (*Allium sativum*)". *infoanalítica*. 2019, 7 (2), 41-55. ISSN: 2477-8788. Tomado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113299>
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). *La Calidad del agua, E. coli y su salud*. Arizona.edu. Tomado de: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

Anexo 2. Prueba de entrada

Este instrumento forma parte del trabajo de grado titulado "**Establecimiento de las interacciones CTSA mediada por un caso simulado fundamentado en la actividad antimicrobiana de AgNPs sintetizadas por una técnica verde**". Este cuestionario tiene como propósito analizar los tipos de interacciones CTSA en el contexto de la enseñanza de la química que establecen los participantes de esta investigación en relación con el tema referenciado. Lea cuidadosamente cada pregunta y responda de acuerdo con sus conocimientos. No se permite consultar herramientas de información externas.

La información recopilada a través de este instrumento será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación, garantizando que los datos obtenidos se manejen de forma confidencial y los resultados serán presentados de manera anónima y general, asegurando que no se revelen detalles personales ni se utilicen con otros fines ajenos a este estudio.

Glosario:

- NPs: Nanopartículas
- AgNPs: Nanopartículas de Plata
- *E. coli*: *Escherichia coli*

Cuestionario

De acuerdo con la siguiente información, responda la pregunta 1.

"Según R. Nagarajan en su libro "Nanoparticles: Building Blocks for Nanotechnology" (2008), una nanopartícula es una partícula con al menos una dimensión que mide entre 1 y 100 nanómetros, en este rango de tamaño, las propiedades de las nanopartículas difieren significativamente de las de los átomos individuales y del material a granel, presentando características únicas a nivel físico, químico y biológico. La versatilidad de las nanopartículas es enorme, ya que pueden

estar compuestas de diversos materiales (metales, óxidos, polímeros, etc.) y adoptar múltiples formas (esferas, cilindros, etc.). Además, sus propiedades pueden ser modificadas a través de tratamientos superficiales para adaptarlas a aplicaciones específicas, esta diversidad y capacidad de diseño hacen de las nanopartículas los componentes fundamentales de la nanotecnología, un campo científico que explora y aprovecha las propiedades de la materia a escala nanométrica."

1. ¿Cómo la capacidad de manipular la materia a escala atómica, como caso de la nanotecnología, está transformando nuestra vida cotidiana y abriendo nuevas posibilidades en campos como la medicina, la microbiología y la electrónica?

De acuerdo con la siguiente información, responda la pregunta 2 y 3:

La síntesis de nanopartículas (NPs) ha sido un área de gran interés en la nanociencia debido a las propiedades únicas que presentan estos materiales a escala nanométrica. Tradicionalmente, la síntesis de nanopartículas se ha llevado a cabo mediante métodos físicos y químicos convencionales, que implican el uso de reactivos tóxicos y condiciones de temperatura y presión alta, lo que genera riesgos ambientales y de seguridad (Zanella, 2012). Estos métodos suelen ofrecer un alto grado de control sobre el tamaño y la morfología de las nanopartículas, pero su impacto ambiental y la necesidad de condiciones de reacción estrictas limitan su sostenibilidad.

En contraste, la síntesis verde de nanopartículas ha emergido como una alternativa más ecológica y sustentable, debido a que este método se basa en la bioreducción de iones metálicos utilizando productos biológicos, como microorganismos, algas, hongos o extractos de plantas derivados de frutos, hojas y semillas. Los extractos biológicos contienen compuestos orgánicos como polisacáridos, flavonoides, polifenoles, y ácidos orgánicos, entre otros, que actúan como agentes reductores y estabilizadores en la formación de nanopartículas (Girón-Vázquez et al., 2019; Hamouda et al., 2019). A diferencia de los métodos convencionales, la síntesis verde no requiere de reactivos de alta toxicidad ni condiciones extremas, lo que reduce significativamente el impacto ambiental y los costos energéticos.

2. ¿Qué desafíos científicos y tecnológicos aún deben superarse para que la síntesis verde de nanopartículas se convierta en la metodología estándar en la industria nanotecnológica?

3. La síntesis verde de nanopartículas se presenta como una alternativa más amigable con el medio ambiente. Compare y contraste los métodos convencionales y verdes para la producción de AgNPs, considerando criterios como la toxicidad de los reactivos y la generación de residuos.

De acuerdo con la información presentada, responda la pregunta 4:

La contaminación bacteriana de fuentes hídricas, especialmente por *E. coli*, representa una grave amenaza para la salud pública, las AgNPs biosintetizadas surgen como una solución innovadora y sostenible, estos diminutos agentes, producidos a través de procesos biológicos, han demostrado una potente capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano, lo que se evidenció en pruebas de difusión en agar y microdilución. Estudios como el de Quinteros (2017) han demostrado que estas NPs inducen a un estrés oxidativo severo en las bacterias, generando especies reactivas de oxígeno como radicales hidroxilos que dañan lípidos, proteínas y ADN, estos hallazgos no solo respaldan el uso de AgNPs como agentes antimicrobianos, sino que también al eliminar patógenos del agua, las AgNPs contribuyen a garantizar el acceso a agua potable y a mejorar la calidad de vida de las comunidades, especialmente en regiones vulnerables.

4. ¿Cuáles serían los impactos sociales y ambientales de utilizar nanopartículas como agentes antimicrobianos para mitigar la presencia de bacterias como *E. coli* en cuerpos de agua, y cómo podría influir esta tecnología en la salud pública y en la gestión de recursos hídricos?

De acuerdo con la información presentada y teniendo en cuenta la Figura 2, responda la pregunta 5:

Para caracterizar las AgNPs se usan técnicas como la espectroscopía UV-Vis, a partir de la cual se obtiene este espectro de extinción plasmónica, que es una representación gráfica que muestra cómo las nanopartículas interactúan con la radiación electromagnética en esta región del espectro, combinando las contribuciones de absorción y dispersión de la radiación, (Gran, Auguie & Le Ru, 2015) esto permite proporcionar información sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas que se asocia con la tonalidad de la disolución de síntesis de la nanopartícula en correspondencia con el grado de especiación del precursor metálico.

En la literatura, se define el factor de forma de una nanopartícula como una medida de su geometría, lo que proporciona información esencial sobre su estructura. Una nanopartícula más esférica tendrá un factor de forma bajo, mientras que una más alargada o irregular presentará un factor de forma alto. Este factor es relevante porque influye en propiedades clave como la reactividad, ya que las nanopartículas

más alargadas suelen tener mayor área superficial, además, afecta las propiedades ópticas, influyendo en la forma en que absorben y dispersan la luz, así mismo, puede alterar la conductividad eléctrica y las interacciones con otras partículas.

5. ¿Cómo se relaciona la tonalidad y el factor de forma de las AgNPs con su pico de absorción en el espectro UV-Vis?

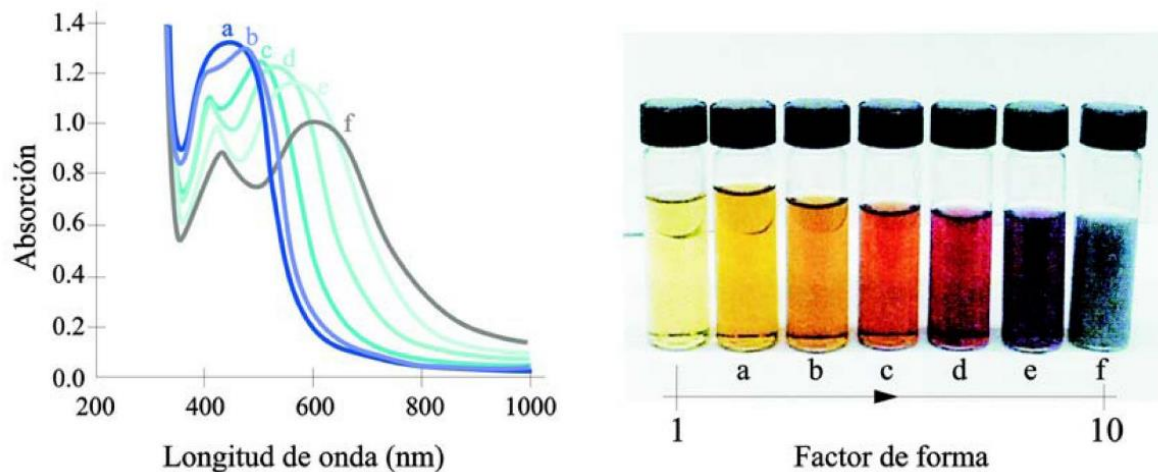


Figura 14. Nanomateriales: el tamaño de los materiales tiene importancia.
Tomado de: M. Elices. (2012)

Referencias:

- del Rocío Coutiño, E. M., Lagunes, L. Á., & Helguera, O. A. (2017). Las nanopartículas de plata: mecanismos de entrada, toxicidad y estrés oxidativo. *Revista de Educación Bioquímica*, 36(2), 39-54.
- Granqvist, C. G., Auguie, B., & Le Ru, E. C. (2015). Surface plasmon resonances in metal nanoparticles: Classical electrodynamics and quantum mechanics. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 27(21), 213201.
- Harris, J., Cottrell, Plummer, & Lloyd. (2001). Antimicrobial properties of *Allium sativum* (garlic). *Applied microbiology and biotechnology*, 57(3), 282–286. <https://doi.org/10.1007/s002530100722>
- Jabeen, S., Qureshi, R., Munazir, M., Maqsood, M., Munir, M., Shah, S. S. H., & Rahim, B. Z. (2021). Application of green synthesized silver nanoparticles in cancer treatment—a critical review. *Materials Research Express*, 8(9), 092001.
- Josling, P. (2005). Allicin - the Heart of Garlic Nature's Aid to Healing the Human Body. Allimax Nutraceuticals US.

- M. Elices. (2012). Nanomateriales: el tamaño de los materiales tiene importancia. Tomado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/ingenieriamateriales/2012/04/20/380/>
- Barreto Sánchez, C. A., & Triana Roa, K. Y. (2022). Relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en docentes en formación al abordar el proceso de adsorción de amoxicilina sobre carbón activado.
- Meriga, B., Mopuri, R., & MuraliKrishna, T. (2012). Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(5), 391–395.
- Nagarajan, R. (2008). Nanopartículas: bloques de construcción para la nanotecnología.
- Quinteros, M. D. L. Á. (2017). Biosíntesis de nanopartículas metálicas. Estudio de actividad antimicrobiana y de su relación con la generación de estrés oxidativo en bacteria multirresistentes.
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 5(1), 69–81. Tomado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912012000100069

Anexo 3. Transcripción de audios del caso simulado

1. PREGUNTA 1: ¿De qué manera los avances científicos en nanotecnología pueden aportar a la solución de la situación ambiental de la calidad de agua por proliferación de bacterias en la cuenca alta del río Bogotá, en particular el sector que colinda con el municipio de Tocancipá?

1.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

En la última década, se ha observado que las nanopartículas tienen un gran potencial para su aplicación en diversos campos como la agricultura, la industria farmacéutica, los procesos de tratamiento de aguas residuales, y la fabricación de insecticidas y pesticidas. Esto se debe, en gran medida, a su capacidad antibacteriana y fúngica, que ha sido descrita en algunas de ellas. Este aspecto es crucial para la mejora de los cultivos y el control de plagas (Palani et al., 2023).

1.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Como investigadores, los avances científicos en nanotecnología, particularmente el uso de AgNPs, ofrecen soluciones innovadoras para abordar la situación de la calidad del agua en la cuenca alta del río Bogotá, especialmente en el sector que colinda con el municipio de Tocancipá. Las AgNPs se han consolidado como potentes agentes antimicrobianos gracias a sus múltiples mecanismos de acción, entre los que se incluye la liberación de iones de plata, que pueden penetrar las membranas bacterianas y alterar funciones celulares esenciales, lo que las hace especialmente efectivas contra bacterias como *Escherichia coli* (Morones et al., 2005).

Además, su pequeño tamaño (aproximadamente entre 2 y 10 nm) y su alta área superficial permiten que interactúen eficientemente con los microorganismos patógenos presentes en el agua, eliminándolos de manera efectiva (Rai et al., 2009). Estas propiedades las convierten en una opción viable para mejorar la calidad del agua, sobre todo en el tratamiento de aguas contaminadas en regiones vulnerables como Tocancipá.

La nanotecnología también ha permitido el desarrollo de sistemas avanzados de filtración en los que las AgNPs se incorporan a membranas filtrantes, lo que facilita la eliminación de patógenos en tiempo real (Dankovich & Smith, 2014). Esto no solo mejora la eficiencia en la purificación del agua, sino que también puede ser una solución sostenible a largo plazo.

Sin embargo, es necesario destacar la importancia de evaluar los posibles riesgos ambientales asociados al uso de nanopartículas. Investigaciones previas han señalado que las nanopartículas en el ambiente pueden alterar procesos ecológicos, migrar grandes distancias y tener efectos adversos sobre organismos acuáticos (Navarro et al., 2008). Por ello, es fundamental que cualquier estrategia de implementación tecnológica incluya un plan de monitoreo y manejo de residuos para evitar daños ecológicos a largo plazo.

1.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

Grupo 1: Los avances científicos pueden contribuir a la solución de la problemática de calidad de agua de diversas formas, una de ellas es

mediante una desinfección eficiente gracias a las propiedades antimicrobianas expresadas con anterioridad, además; el uso de métodos de síntesis verde, como el extracto de plantas (por ejemplo, extracto de ajo), permite la producción de nanopartículas de manera ecológica, minimizan el uso de productos químicos tóxicos y reduciendo el impacto ambiental.

Sin embargo, respecto a nuestro rol del debate, debería de existir campañas de información acerca de los beneficios e incluso potenciales riesgos que estos avances puedan ocasionar, debido a que no solo afecta a la cuenca alta del río Bogotá, sino que, a todo el paso del río, debido a que no se tendría claridad de qué tan efectivas sean las nanopartículas en las zonas bajas del río Bogotá esto al ser un trayecto extenso a nivel de territorio.

Según Navarro et al. (2021), comprender la síntesis para la producción de nanopartículas (NPs) permite optimizar los procesos, minimizando la generación de contaminantes y reduciendo sus emisiones a la atmósfera. Las NPs se han convertido en un componente central de las tecnologías innovadoras de remediación ambiental, facilitando la eliminación o disminución de contaminantes en el aire, agua y suelo. Sin embargo, además de los beneficios significativos, también surgen riesgos nuevos asociados a fuentes estacionarias industriales (como procesos de combustión), fuentes móviles y ambientes laborales recientemente creados. Las fuentes naturales también pueden verse alteradas, como en el caso del polen y los virus, que al interactuar con las NPs pueden provocar alergias o diseminar enfermedades. La presencia de NPs en la atmósfera modifica los procesos fotoquímicos, afectando fenómenos como la nucleación de nubes, lo que facilita su migración a grandes distancias y posterior depósito en cuerpos de agua o suelos, generando así una contaminación secundaria. Estos procesos pueden llevar a la exposición humana a las NPs, afectando no solo a los organismos acuáticos unicelulares, sino también a otros animales como crustáceos y peces. De hecho, estudios ecotoxicológicos han demostrado efectos tóxicos, citotóxicos y genotóxicos de las NPs en organismos acuáticos, como el bivalvo de agua dulce *Coelatura aegyptiaca* y el pez carpa (*Cyprinus carpio*), y se ha observado que las NPs de ZnO inducen estrés oxidativo en los músculos de los peces tilapia (*Oreochromis niloticus*). Estos efectos permiten la posibilidad de bioacumulación a lo largo de la cadena

alimentaria, afectando eventualmente a los seres humanos. La alimentación es la principal vía de exposición de NPs en animales acuáticos, ya que las algas y plantas acuáticas pueden absorber grandes cantidades de estas partículas. También se ha documentado que las NPs pueden perjudicar el desarrollo de las plantas, ya que, por ejemplo, las NPs de Al_2O_3 y TiO_2 afectan el crecimiento de las raíces, y las NPs de TiO_2 inhiben el crecimiento foliar al reducir la conductividad hidráulica. De manera similar, las plantas expuestas a NPs de CeO_2 han mostrado una disminución en su crecimiento y en funciones fisiológicas. Además, Jiang et al. han señalado que las NPs con tamaños menores que el diámetro de las estomas de las hojas pueden penetrar directamente en la cavidad subestomática, causando obstrucción, lo que reduce el crecimiento y los procesos fotosintéticos, y afecta la biomasa en áreas urbanas.

1.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

Los avances científicos en nanotecnología, particularmente en la síntesis de AgNPs mediante métodos ecológicos, representan una solución innovadora y sostenible para mejorar la calidad del agua en la cuenca alta del río Bogotá, especialmente en el sector que colinda con el municipio de Tocancipá, ya que, la utilización de extractos naturales, como el de ajo (*Allium sativum*), para la producción de AgNPs ofrece un enfoque de síntesis verde que conserva el ambiente mientras aprovecha las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas para combatir bacterias como *Escherichia coli*, un agente común de enfermedades gastrointestinales en la región.

La implementación de esta tecnología no solo tiene el potencial de reducir patógenos en el agua, mejorando así la salud pública, sino que también promueve prácticas sostenibles al involucrar a la comunidad en el uso y desarrollo de métodos de tratamiento de agua más amigables con el medio ambiente, esto es coherente con las metas de desarrollo sostenible, al asegurar que los beneficios tecnológicos no comprometan la integridad del entorno.

Para que estos avances puedan implementarse a gran escala y con respaldo del gobierno, es fundamental crear normativas que regulen el uso seguro y efectivo de nanomateriales en aplicaciones de descontaminación de agua, este respaldo regulatorio fomentaría

además la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías nanotecnológicas en Colombia, permitiendo que ejemplos concretos de éxito en otras regiones puedan respaldar la aplicabilidad de estos métodos en el río Bogotá, en conjunto, la nanotecnología y el apoyo gubernamental permitirían un tratamiento de agua más efectivo y sostenible, beneficiando tanto a la población de Tocancipá como a las industrias que dependen de un suministro de agua de calidad.

1.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Grupo 1: Gracias al nanobio remediación este enfoque desde la nanotecnología suena prometedor en la intervención de procesos biológicos de proliferación bacteriana en la cuenca alta del río Bogotá. De esta manera, los avances que se han venido dando en el campo de la nanotecnología se postulan como soluciones innovadoras y efectivas para la mejora de la calidad del agua en dicho lugar, es así que, su contribución se ve reflejada desde varios aspectos tales como: el uso de nanopartículas antimicrobianas, el uso de foto catalizadores y los sensores nanoestructurados para la detección de contaminantes a bajos niveles. Cabe resaltar que estos aspectos hacen que el uso de nano partículas mejore la salud pública de la región y a través de la promoción de la sostenibilidad.

De acuerdo con una publicación de Gelover, S (2015) realizada en la revista Mundo Nano; la depuración tradicional de los sistemas acuáticos resulta insuficiente para el tratamiento de aguas. Desde el enfoque de ciencia, tecnología, sociedad y ambiente se hace necesario emplear métodos alternativos para el tratamiento de purificación y desinfección del agua, empleando nanomateriales para la potabilización y tratamiento de aguas residuales ya que es necesario remover elementos como: metales, agentes inorgánicos, agentes orgánicos y microorganismos patógenos. Por otro lado, debemos considerar la ubicación geográfica y las actividades económicas del sector, es considerable el uso de AgNPs se postula como una de las posibles soluciones para la mejora de las condiciones del agua y la disminución de colonias bacterianas para evitar enfermedades en habitantes y visitantes de la zona teniendo en cuenta que cerca del 74% de las actividades son de comercio, reparación, restaurantes y hoteles; que ha dado paso a la instalación de nuevas empresas como Bavaria, Kimberly, Belcorp, Quala, Diaco, Coca-Cola, entre otras que requieren del suministro de agua.

Grupo 2: Las AgNPs presentan un enorme potencial para abordar la problemática de la contaminación bacteriana en el agua de Tocancipá debido a sus propiedades antimicrobianas. Al ser de tamaño nanométrico, pueden interactuar a nivel molecular con las bacterias, dañando su estructura y función. Su combinación con extractos naturales como el ajo potencia su efectividad y reduce la toxicidad. Sin embargo, es fundamental realizar estudios a mayor escala para evaluar su impacto ambiental a largo plazo, su efectividad en condiciones reales y su costo-beneficio. Además, es necesario garantizar la seguridad de su uso y establecer protocolos adecuados para su producción y aplicación.

2. PREGUNTA 2: ¿Cómo influye el desarrollo tecnocientífico en la percepción y las acciones de la sociedad ante el caso de Tocancipá?

2.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

La integración de tecnologías innovadoras, como las AgNPs para la descontaminación del agua, no solo proporciona soluciones a problemas ambientales, sino que también modifica la forma en que la comunidad percibe estos desafíos y las herramientas disponibles para abordarlos.

En primer lugar, la adopción de tecnologías emergentes puede generar una percepción positiva hacia la ciencia y la tecnología, ya que se asocian con la mejora de la calidad de vida. Según Ribelles, Solbes y Vilches (2010), la educación y la divulgación sobre los avances en nanotecnología pueden enriquecer la comprensión de la comunidad sobre cómo estas innovaciones contribuyen a resolver problemas ambientales críticos. Esto no solo fomenta un mayor interés por la ciencia, sino que también empodera a los ciudadanos para participar activamente en la implementación de soluciones tecnológicas.

Sin embargo, es fundamental abordar los temores y preocupaciones que pueden surgir en torno a la seguridad y los riesgos potenciales de las nuevas tecnologías. Martínez y Pérez (2012) subrayan la importancia de educar a la sociedad sobre el impacto de la tecnología en la vida cotidiana para fomentar un uso responsable y ético de las innovaciones. En el caso de Tocancipá, es esencial que la comunidad esté informada sobre tanto los beneficios como los posibles riesgos

asociados con el uso de nanomateriales en el tratamiento de agua, lo que podría influir en su disposición a aceptar y adoptar estas tecnologías.

Por último, el desarrollo tecnocientífico también debe ir acompañado de un marco regulatorio adecuado que garantice la protección del medio ambiente y la salud pública. Vilches (2015) enfatiza la necesidad de fomentar un pensamiento crítico y sostenible en la sociedad para que los ciudadanos tomen decisiones informadas y responsables respecto al uso de nuevas tecnologías. En este sentido, el papel del Comité Científico se convierte en un vínculo importante entre la investigación, la comunidad y las autoridades, asegurando que las decisiones tecnológicas estén alineadas con las necesidades y preocupaciones de la población.

2.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Si en el municipio se incorporaran tecnologías para el tratamiento de agua residuales esto no solo mejoraría la calidad del agua, sino también podría llevar a una mayor conciencia en relación con la protección del medio ambiente y especialmente los recursos hídricos. Además, se haría más visible en la comunidad la importancia sobre el cuidado del entorno, así pues, se podría generar una mayor participación ciudadana en temas de desarrollo local y políticas ambientales en el sector. En este sentido, la nanotecnología es un campo de la ciencia que con el paso de los años ha demostrado poseer un gran potencial como alternativa biotecnológica, y uno de los posibles métodos que se podrían implementar es través de la síntesis verde de nanopartículas metálicas de plata, dado que, son las más usadas y caracterizadas debido a sus propiedades fisicoquímicas (conductividad, estabilidad) y biológicas (actividad catalítica y antibacteriana). (Esquivel-Figueroa & Mas-Diego)

De esta manera, el uso de estas prometedoras nanopartículas se está viendo permeado para el tratamiento de aguas residuales, gracias a sus propiedades, de las cuales también se pueden destacar su tamaño, su superficie de área modificable, son resistentes a la abrasión y tienen un alto magnetismo, estas características le proporcionan una cierta efectividad. Sin embargo, algunas de las limitaciones que se presentan es que aún no es muy claro en las investigaciones un plan de manejo de residuos de AgNPs, o no ha sido visible un plan de recuperación de la plata que queda como residuo o

precipitado del proceso o si es viable generar algún tipo de reúso con este material.(Tovar, 2019) Por otro lado, en esta técnica de síntesis verde hay que ser muy cuidadoso porque no se logra tener mucho control de las nanopartículas sintetizadas, de ahí que, en condiciones generales de síntesis son irregulares en forma y tamaño, por lo cual hay que tener mucha rigurosidad con las variables experimentales como la temperatura, el pH, la cinética de la reacción y también el tiempo de incubación de las nanopartículas. (Hernández, 2022)

Grupo 2: Para Tocancipá el desarrollo tecnocientífico influye directamente en cómo la sociedad percibe y actúa ante el problema del agua contaminada. A través de tecnologías avanzadas para el monitoreo, la difusión de información, el diagnóstico de enfermedades, y el tratamiento del agua, la tecnociencia permite una respuesta más rápida y efectiva ante la crisis y también fomenta una mayor conciencia y compromiso a largo plazo con la salud pública y la protección ambiental. No obstante, la combinación de ciencia y tecnología proporciona herramientas poderosas para abordar y resolver estos desafíos de manera sostenible.

2.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

Grupo 1: El desarrollo tecnocientífico, especialmente en nanotecnología, como el uso de AgNPs para la purificación del agua, puede desempeñar un papel crucial en aumentar la conciencia pública sobre los problemas de contaminación y sus efectos en la salud. Al divulgar estos avances científicos, se educa a la comunidad sobre la importancia de la calidad del agua y las tecnologías disponibles para mejorarla, lo que a su vez motiva a la sociedad a involucrarse activamente en la implementación de soluciones innovadoras.

Sin embargo, nuestra postura como comunidad refleja cierta inquietud, ya que, debido a las afectaciones en la salud causadas por bacterias como E. coli, especialmente en niños y personas mayores, es comprensible que en las zonas municipales exista un nivel de desconocimiento y cierto temor sobre el uso de las AgNPs en el tratamiento del agua. La introducción de esta tecnología podría generar dudas, ya que muchas personas no tienen pleno conocimiento acerca de sus beneficios y riesgos. Para enfrentar este desafío y mantener a la comunidad bien informada, existen campañas como el Programa Nacional de Cultura del Agua, 2018 que ha desarrollado

estrategias de divulgación y sensibilización junto con campañas educativas. Estas iniciativas buscan promover cambios culturales responsables en la gestión del agua, utilizando un lenguaje accesible y claro, y difundiendo información a través de medios variados, desde los masivos y locales hasta los digitales, el objetivo es reducir el temor hacia nuevas tecnologías como las AgNPs, al tiempo que se fomenta una participación ciudadana activa en la gestión sostenible del agua. A través de la divulgación de estos conocimientos, la sociedad puede conectarse con los resultados de investigaciones y estudios técnicos sobre el agua, permitiendo que este conocimiento tenga un impacto social significativo. La comunidad, al estar mejor informada sobre los impactos y posibles consecuencias, puede tomar decisiones informadas y participar de manera responsable en la adopción de tecnologías para la purificación del agua en el caso de Tocancipá.

2.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

El desarrollo de la tecnociencia influye significativamente en la percepción y las acciones de la sociedad con respecto a los problemas de contaminación que enfrenta Tocancipá. En primer lugar, los avances en el conocimiento científico, en particular en campos como la nanotecnología, ayudan a crear conciencia sobre la gravedad de la contaminación del agua y sus implicaciones para la salud pública. Este conocimiento empodera a la comunidad para comprender los riesgos asociados con el agua contaminada y la motiva a buscar soluciones de manera activa.

Además, la introducción de tecnologías innovadoras, como el uso de AgNPs para la purificación del agua, capta el interés público y genera esperanza para estrategias de remediación efectivas. La percepción de estas aplicaciones tecnológicas refuerza la confianza de la comunidad en las soluciones científicas, alentando a los residentes a colaborar con las autoridades locales y las organizaciones científicas. Esta colaboración es esencial para desarrollar prácticas sostenibles y abordar los desafíos ambientales de manera colectiva. El discurso tecnocientífico fomenta un clima de rendición de cuentas entre los gobiernos e instituciones locales. A medida que los ciudadanos se educan más sobre las intervenciones tecnológicas y sus beneficios, exigen a las autoridades la responsabilidad de tomar las medidas adecuadas para mitigar la contaminación y proteger la salud pública. Esta dinámica crea un ambiente participativo donde la comunidad, el

gobierno y la comunidad científica trabajan juntos para mejorar la calidad de vida en Tocancipá.

2.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Grupo 1: El avance de la tecnología y la ciencia ha provocado una transformación en los procesos sociales mediante la implementación de nuevas herramientas e innovaciones, destinadas a abordar problemas de interés general o común. En el municipio de Tocancipá, se observa un fenómeno que afecta negativamente la calidad de vida de sus habitantes. Frente a esta problemática social, es crucial la intervención de entidades mediadoras que permitan la solución de este problema, el cual involucra el uso de AgNPs. Esta iniciativa podría generar percepciones de positivas en la comunidad. Debido a los resultados de mitigación de crecimiento bacteriano, asimismo puede ser percibida como una solución moderadamente efectiva dentro de la comunidad, lo que podría despertar interés y fomentar investigaciones adicionales sobre este método innovador. Además, podría considerarse su aplicación en otras áreas del territorio que presente condiciones, recursos y afecciones similares.

En relación con las actividades, la presencia de una afección de tal magnitud lleva a las autoridades encargadas a identificar las principales fuentes de contaminación que afectan al río. Entre estas acciones se incluye el monitoreo constante de los recursos hídricos, con el objetivo de prevenir nuevas afectaciones, así como la difusión de información acerca de la protección del río. Por otro lado, la comunidad local también debe implementar medidas de prevención y cuidado, utilizando métodos simples como hervir el agua y mantener limpio los recipientes de agua potable en los hogares.

Para reducir los efectos de la contaminación y garantizar la preservación de los recursos hídricos, las autoridades y la comunidad deben trabajar juntos. La educación y la participación de los habitantes son esenciales para fomentar prácticas sostenibles y garantizar la salud pública, lo que demuestra la importancia de una gestión colaborativa en la protección del medio ambiente.

Grupo 2: La propuesta de las nanopartículas de AgNPs se pueden ver como las caras de una moneda una que ofrece optimismo y esperanza al presentar una posible solución a largo plazo para la situación de contaminación y con esto se podría lograr la participación ciudadana,

pero no vamos a mentir al mismo tiempo, surgen inquietudes por costos, efectos secundarios. Podríamos sugerir que se dé una comunicación clara y transparente de los beneficios y los riesgos.

3. PREGUNTA 3: ¿Cómo ha afectado la contaminación del agua en Tocancipá la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, especialmente de los grupos más vulnerables?

3.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

La contaminación del agua se ha visto afectado por diferentes contaminantes debido a los tipos de vertientes de aguas residuales que hay en la zona, uno de los grandes problemas de contaminación en la zona es a causa de la E. Coli, precisamente por la cepa de Enteropatógeno y Enteropasivo, estas según Rock & Rivera, (2014) afirman que estas causan diarrea acuosa, a veces con sangre, así mismo causa la disentería y la fiebre es un síntoma común, es muy común que se evidencia estos problemas en los países subdesarrollados. Por otra parte, el consumo de agua contaminada tiene diferentes problemas en la salud de los seres vivos, así mismo, es inadecuada para el uso cotidiano, debido a los posibles problemas o daños en la piel, boca, dientes, entre otros. Los principales contaminantes son por agentes patógenos, desechos que requieren de oxígeno, sustancias químicas inorgánicas como los ácidos o compuestos metales, sustancias químicas provenientes de plásticos, plaguicidas y detergentes. Todas estas actividades orientadas al crecimiento industrial en la zona de Tocancipá, ha generado problemáticas en los habitantes, en los sistemas acuáticos y terrestres de la zona.

Por otra parte, como lo afirma Rosendo, G., Miranda, K, Antunez, R., Salgado, S,. (2016) “Es muy habitual en países en desarrollo que la gente viva el agua directamente del río o de un arroyo, sin tratar y sin esterilizar. En ocasiones el agua está contaminada por causa natural, ya sea por microorganismos, como los virus o bacterias, peces muertos... Lo que puede causar una grave enfermedad a la gente que vive de esta agua” (p.3).

Es importante mencionar que la colaboración comunitaria y el compromiso social son esenciales para enfrentar la contaminación del agua en Tocancipá, a través de la educación ambiental, los habitantes pueden comprender la importancia de proteger los recursos hídricos,

promoviendo prácticas sostenibles como la reducción de residuos y el uso responsable del agua, por otro lado, la participación comunitaria en la toma de decisiones y en comités de vigilancia permite a los residentes exigir y asegurar el cumplimiento de normativas, fortaleciendo su rol activo en la gestión del agua. Estas acciones conjuntas no solo mejoran la calidad de vida, sino que también fortalecen el compromiso compartido hacia un entorno saludable y sostenible.

3.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR

Grupo 1: Investigadores de la UPN: en el sitio los habitantes y familias refieren los siguientes aspectos que les afectan su calidad de vida y bienestar:

- Enfermedades gastrointestinales (diarrea, vómito y dolor abdominal), Según la OMS cada año mueren cerca de 1.87 millones de niños por EDA y cerca del 88% asociadas al agua insalubre y deficiente de higiene.
- Presencia de metales pesados concentraciones de cromo total en el agua de 2 -10 veces mayor al de nivel saludable, causando problemas cardiovasculares, alteraciones genéticas y cáncer de pulmón.
- Sistema inmunológico vulnerado al ser un río que prolifera diferentes patógenos.
- Complicaciones graves a enfermedades ya existentes en los habitantes y las enfermedades a desarrollar por la acción patógena.
- Derecho a gozar de un ambiente sano, el estado debe proteger la diversidad e integridad de este. A partir de la constitución de 1991, del capítulo 3, de los derechos fundamentales y del ambiente el Art. 79 y el Art 49, con respecto al saneamiento ambiental, puesto que se evidencia desaparición de especies, malos olores y presencia de zancudos.
- Riesgo en los cultivos aledaños tales como papa y hortalizas

Grupo 2: En los últimos meses los habitantes de Tocancipá han evidenciado un incremento de contaminación en aguas de uso diario, por lo que han tomado las directivas necesarias para dicho proceso, así mismo los habitantes se han dirigido a la administración del municipio radicando una denuncia a la empresa Leona, por no cumplir las normativas pertinentes en el desecho de residuos como en sus

instalaciones, ya que aseguran que la empresa no cumple con la tubería necesaria, así mismo encontramos que desde enero del año presente el hospital del sopo realizo una demanda enviada a administración y fiscalía donde redactaban que los culpables de la propagación de la contaminación de la quebrada chucua, según las cifras del hospital de sopo, han habido más casos de enfermedades gastrointestinales, así mismo se hizo un estudio cualitativo con ganadería, donde se les dio de beber el agua que en palabras de la empresa leona, no existía contaminación, eventualmente se evidencio el fallecimiento de una vaca y un cerdo, donde los estudios analizados dieron que el estómago de ambos animales quedo en estado de una torsión gástrica lo que eventualmente provoco el fallecimiento. Por lo tanto, las afectaciones de la contaminación de Tocancipá están llegando a alerta naranja por ser un recurso hídrico impórtate y vital.

3.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD

La contaminación del agua en el municipio de Tocancipá ha generado graves problemas de salud, especialmente en los grupos más vulnerables, como niños y ancianos. Las enfermedades causadas por bacterias, como la E. coli, se han vuelto comunes debido al consumo de agua contaminada, provocando síntomas como diarrea, vómito y dolor abdominal. Estos problemas afectan directamente la calidad de vida de los habitantes, quienes se ven obligados a recurrir a fuentes de agua no tratadas o contaminadas, limitando su acceso a agua potable segura.

Esta situación no solo incrementa el riesgo de enfermedades, sino que también repercute en la capacidad de las familias para realizar actividades diarias esenciales, como la higiene personal y la preparación de alimentos, lo que impacta su salud y bienestar general. Además, los altos gastos económicos derivados de hospitalizaciones y medicamentos para tratar estas infecciones agravan aún más la situación.

Un ejemplo concreto es con relación a una noticia del periódico *El Tiempo* (2005), donde se menciona que más de 30 empresas se han asentado en la región, donde muchas de las cuales no cuentan con un manejo adecuado de sus aguas residuales, puntualmente la Corporación Autónoma Regional (CAR) ha señalado que más de 10 de estas industrias operan sin los permisos de vertimientos o no cumplen con los requisitos ambientales establecidos. Asimismo, se

han registrado problemas con establecimientos comerciales, como restaurantes, que contribuyen a la contaminación de quebradas como La Chucua y Mi Padre Jesús, que desembocan en los ríos Teusacá y Bogotá, así como en el embalse de Tibitó. El alcalde de Tocancipá, Nilton Cortés Castelblanco, ha señalado que una parte significativa del problema se resolverá una vez que la Cervecería Leona gestione adecuadamente sus aguas residuales y deje de verterlas en La Chucua. Mientras tanto, la dirección del Hospital de Sopó ha enviado una carta a la administración municipal, denunciando el deterioro ambiental y el aumento de pacientes afectados por brotes cutáneos y enfermedades gastrointestinales.

Habitantes de la vereda de Briceño, donde cruza la quebrada La Chucua, han denunciado un aumento en la contaminación desde la instalación de la planta cervecera en Tocancipá. Aunque el CAR indicó que los monitoreos muestran que las aguas de la cervecera cumplen con los requisitos, su director, Diego Bravo Borda, anunció que la empresa será sancionada por verter sus desechos líquidos antes de recibir el permiso correspondiente.

El gerente de Leona, Héctor Fernando García, aseguró que la empresa invirtió 10 millones de dólares en el tratamiento de aguas y realiza monitoreos semanales. Sin embargo, los habitantes de Briceño afirman que, anteriormente, podían usar el agua de la quebrada para tareas domésticas y para el ganado. Recientemente, dos terneros que bebieron de esta agua murieron, con el estómago en condiciones deplorables, lo que resalta la gravedad de la situación.

3.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL

La contaminación del agua en Tocancipá ha tenido un impacto significativo en la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, especialmente en los grupos más vulnerables, como los niños y los adultos mayores. El consumo de agua contaminada ha llevado a un aumento notable en los casos de enfermedades gastrointestinales, cuyos síntomas incluyen diarrea, vómitos y dolor abdominal, lo que pone en riesgo la salud de la población. Los niños y los adultos mayores, con sistemas inmunológicos generalmente más débiles, son particularmente susceptibles a las complicaciones derivadas de estas enfermedades.

Esta alarmante situación ha generado una creciente preocupación entre los residentes, quienes han hecho llamados urgentes a las

autoridades locales para que tomen medidas inmediatas ante la crisis. La combinación de riesgos para la salud y la falta de acceso a agua potable segura crea un entorno perjudicial que agrava las desigualdades existentes y amenaza el bienestar general de la comunidad.

Además, el gobierno local ha reconocido la carencia de recursos y conocimientos para abordar exitosamente estos problemas, lo que destaca la necesidad de colaboración con entidades nacionales y la comunidad científica. Esta cooperación es fundamental para buscar soluciones viables que restauren la calidad del agua y mejoren la salud pública en la región.

Un estudio reciente realizado por la Universidad Nacional, titulado *Desarrollo de Nanopartículas de Magnetita Soportadas en un Material Micrométrico para Remoción y Subsecuente Descomposición Catalítica de Crudo Emulsionado en Aguas de Producción*, ha demostrado que los materiales de carbón activado, elaborados a partir de residuos de café, son altamente efectivos en la adsorción de crudo. Comparados con la cascarilla de nuez, que es el material actualmente utilizado en la industria, estos materiales presentan rendimientos superiores al 100%. Este ejemplo es de gran relevancia para Colombia, ya que su aplicación podría contribuir significativamente a la protección del medio ambiente y la mejora de la salud pública.

3.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Grupo 1: Según una publicación de la Agencia de Noticias de la Universidad Nacional de Colombia, el municipio de Tocancipá atraviesa un conflicto ambiental y social por la reducción de la disponibilidad de agua y el crecimiento industrial. La contaminación del recurso hídrico tiene un impacto negativo significativo en la calidad del agua gracias a las afecciones que se pueden generar en la salud pública por la presencia de aguas residuales que hacen que se incrementen infecciones gastrointestinales por la presencia de microorganismos y otras enfermedades como como el dengue o problemas dermatológicos. Gracias a una investigación de Claudia Paola Barrera Ingeniera Ambiental y magister en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional, se considera desfavorable el crecimiento industrial, ya que se reduce la cantidad de agua disponible para el consumo humano y el uso doméstico, generando un impacto

social, haciendo que las familias busquen alternativas más costosas o menos seguras.

De los agravantes del crecimiento industrial, la investigación realizada arroja resultados de 49,6/100 por lo que es desfavorable en varios aspectos ya que es acelerado y no planificado generando además del impacto ambiental, un impacto social, puesto que se ven en la obligación de ampliar el sector inmobiliario gracias a que la población transitoria, con el tiempo se ha venido haciendo permanente. Según las responsabilidades de la CAR, se propone que haya mayor gestión en la regulación de los recursos hídricos y que desde la gestión ambiental se promueva la investigación para usar nanopartículas para mejorar las condiciones del agua en la región.

Grupo 2: La contaminación del agua en Tocancipá ha afectado significativamente la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, particularmente de los grupos más vulnerables, los altos niveles de coliformes totales, que alcanzan 7.3×10^4 NMP/100 mL, superando ampliamente el límite permitido de 5×10^3 NMP/100 mL, evidencian una grave contaminación bacteriológica que limita el uso seguro del agua tanto para consumo humano como para actividades agrícolas. Esta situación no solo pone en riesgo la salud pública, sino que también exacerba las desigualdades sociales, afectando más a aquellos con menos recursos que dependen del agua contaminada.

4. PREGUNTA 4: Qué desafíos desde la ciencia y la tecnología en nanomateriales son cruciales para mitigar los efectos a corto, mediano y largo plazo de la situación descrita en el municipio Tocancipá?

4.1. DESDE EL ROL DE COMITÉ CIENTIFICO

El uso de nanomateriales en los procesos de tratamiento de aguas residuales plantea un escenario beneficioso en la reducción y control de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en este tipo de afluentes. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que existen varios desafíos por enfrentar para la implementación de este método a escala industrial. En primer lugar, Nasrollahzadeh et al. (2020) menciona que una de las principales desventajas del uso de estos materiales es que pueden bioacumularse en fuentes hídricas, suelos e, incluso, en algunos casos, en el aire. Por otro lado, Gupta et al. (2022) señala que otro de los riesgos que presentan las

nanopartículas es la toxicidad que puede generar su exposición en el organismo humano, ya que, debido a su tamaño, pueden alojarse en los pulmones, corazón, sistema nervioso, entre otros. Finalmente, se ha evidenciado que su inclusión en procesos a escala industrial suele ser lenta, además de traer mayores costos asociados a su reutilización en procesos de filtración mediante membranas (Pérez et al., 2023). Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que los avances tecnológicos requieren ajustes científicos continuos para minimizar los riesgos y mejorar la efectividad de los nanomateriales en la remediación de aguas.

4.2. DESDE EL ROL DE INVESTIGADOR:

Grupo 1: *Corto*: es necesario que la ciencia y tecnología muestren a las autoridades territoriales específicamente a la entidad ambiental, el requisito de la licencia ambiental para el sector industrial de esta zona, como las curtiembres.

Mediano plazo: es necesaria una alianza entre ciencia, tecnología, sociedad y autoridades territoriales. Donde las ramas se relacionen de tal manera que se investigue, se formule, se divulguen y se implementen trabajos en pro de mejoras a problemáticas que enfrenta en los territorios. Por tanto, el desafío que enfrenta a mediano plazo la ciencia y la tecnología en nanomateriales es que este tipo de tratamientos de alternativas sostenibles actuales sean investigadas para ser desarrolladas, implementadas, avaladas por autoridades territoriales, con el fin de evitar y prevenir problemáticas científicas, tecnológicas y ambiental. A fin de disponer los recursos, instrumentos y personal adecuado para implementación de AgNPs como agente antimicrobiano.

Largo: Los desafíos que podrían surgir es con relación a la falta de planes de manejo de residuos de las nanopartículas, dado que, hay poca información o investigaciones reducidas sobre esto, por lo cual sería una buena alternativa revelar las posibles consecuencias que puede provocar este método, así como sus potenciales beneficios, tanto así, que se establezca una relación beneficio-impacto. En un segundo momento, se debería evaluar la sostenibilidad de las nanopartículas en el tiempo considerando su biodegradabilidad y su impacto en el ecosistema. Por otra parte, la implementación de estas

biotecnologías para el tratamiento de aguas residuales, si bien esta en un periodo de estudio y desarrollo, el avance que se ha presentado ha sido a escala de laboratorios, sin embargo, hay casos particulares que lo han llevado a escala piloto. Y una de las posibles consecuencias son las características que poseen dichas aguas contaminadas, a tal grado que su composición se vuelve cada vez más variable y compleja de tratar, de allí que, es imperativo exigir urgentemente una legislación ambiental para que las empresas controlen y reevalúen el vertimiento de sus residuos.

Grupo 2: Para mitigar los efectos a largo plazo se encontró que el Municipio de Tocancipá buscara realizar un insumo que ayudara a identificar las quebradas que se encuentran en las microcuencas que hacen parte del sistema hídrico del Río Bogotá, realizando una caracterización, que precederá desde un análisis completo de los recursos a su alrededor, así como un control ambiental que se encargara de advertir a empresas cercanas a las veredas, las posibles sanciones que rigen la ley al desechar material orgánico no procesado a un vertimiento que da abasto a la población.

A corto plazo según la planeación de las fuentes hídricas de Tocancipá sugieren que se realizara los respectivos planes de manejo con las estrategias necesarias para la prevención, mitigación y control de estos impactos, en busca de la recuperación y protección de las fuentes hídricas superficiales. (Balance de la gestión del recurso hídrico en el municipio de Tocancipá)

- 4.3. DESDE EL ROL DE COMUNIDAD: Este rol fue asignado a dos grupos, donde cada uno adoptó una postura distinta el Grupo 1 se posicionó en contra, mientras que el Grupo 2 estuvo a favor.

Los riesgos asociados a estas nanopartículas podrían afectar no solo a los consumidores de productos que contienen nano componentes, sino también a los trabajadores de las industrias que manejan nanopartículas, además, advierten que, en caso de liberarse en la atmósfera, estas partículas podrían tener un impacto negativo en la salud de la población en general, es decir que estas nanopartículas se pueden bioacumular en cuerpos de agua y seres vivos (Foladori & Invernizzi, 2005)." Además las NPs representan un avance tecnológico, pero que no ofrecen una solución inmediata ni a largo

plazo a la problemática de la contaminación del agua en el río Bogotá, basándose en el informe de la Royal Society y The Royal Academy of Engineering, que advierte sobre las consecuencias imprevistas del uso de nanopartículas para descontaminar el agua, donde se establece que la alta reactividad superficial de las NPs podría impactar negativamente a los seres vivos y alterar los procesos ecosistémicos.

4.4. DESDE EL ROL DE GOBIERNO LOCAL:

Para mitigar los efectos de la contaminación del agua en Tocancipá, es crucial abordar varios desafíos en la ciencia y tecnología de los nanomateriales. Primero, se debe impulsar la investigación y desarrollo de AgNPs, optimizando su síntesis para maximizar su eficacia antibacteriana contra patógenos como *Escherichia coli*. Segundo, se requieren evaluaciones de seguridad e impacto ambiental, asegurando que el uso de AgNPs no genere contaminación secundaria ni afecte a organismos no objetivo. Por último, es fundamental desarrollar métodos sostenibles y de bajo costo para su aplicación a gran escala.

Además, la colaboración entre el gobierno local, comunidades científicas e industrias es esencial para integrar estas tecnologías en los sistemas de tratamiento de agua, garantizando el cumplimiento de normativas ambientales. A pesar de su potencial, se deben considerar los efectos adversos de las AgNPs en el medio ambiente (Navarro et al., 2008; Nowack & Bucheli, 2007) y su viabilidad a gran escala en términos de costo y riesgos (Liu & Zhao, 2013). De esta forma, se pueden desarrollar estrategias de remediación efectivas, sostenibles y socialmente responsables.

4.5. DESDE EL ROL DE CAR/CRA

Grupo 1: Los nanomateriales constituidos por nanopartículas representan una herramienta prometedora y valiosa para mitigar efectos a corto, mediano y largo plazo en diferentes contextos y/o problemáticas. Esto, ya que, como sus propiedades difieren de forma significativa de las de los átomos individuales, se convierten en especies versátiles, que pueden estar compuestas a partir de diferentes materiales y adoptar múltiples formas. Del mismo modo, su versatilidad permite que las propiedades puedan ser modificadas por medio de tratamientos superficiales, con la intención de aplicarlas en contextos específicos; como el de la salud, fabricando recubrimientos

antimicrobianos para dispositivos médicos y textiles, o, como es el caso del municipio de Tocancipá, como potentes agentes antimicrobianos para inhibir la proliferación de la especie de E. coli en la cuenca alta del río Bogotá.

En tal sentido, los retos que se pueden abordar desde el componente científico y tecnológico tienen relación con la inocuidad de los mismos nanomateriales. Particularmente, en el caso de Tocancipá, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), como autoridad ambiental, debe velar por la protección del río Bogotá, por lo que se hace necesario que las estrategias que se implementen para el control de la proliferación de la E. Coli, garanticen que no se generen nuevos efectos adversos en el ambiente. Por esta razón, es pertinente profundizar en el estudio y evaluar la eficacia y seguridad de esta propuesta (AgNPs), dado que su uso podría llegar a verse limitado por factores como la toxicidad para células y el desarrollo de resistencia bacteriana.

Grupo 2: Como desafíos se encuentra básicamente la toxicidad con los agentes a usar como posible solución AgNPs y una posible acumulación en los organismos acuáticos.

Pasando a la resolución de lo anteriormente mencionado, listo se usa el producto y como se va a monitorear o detectar en la travesía del tiempo.

En la presentación del caso se menciona otra forma de obtención a partir de la sábila, hacemos referencia a su bibliografía eso supone más métodos de síntesis, entonces cual es más sostenible o mejor más eficiente y por eficiencia cual tecnología para hablar de aplicación a mayores escalas podríamos usar. Será la tecnología o la ciencia la que se encargara de los protocolos para gestionar los residuos generados en aras de una gran producción si hablamos de una mayor escala.

Anexo 4. Ejemplo de formato de validación de instrumentos

El trabajo evaluativo que usted realizará será una valiosa contribución al desarrollo de nuestro trabajo de grado titulado: **"ESTABLECIMIENTO DE LAS INTERACCIONES CTSA MEDIADAS POR UN CASO SIMULADO,**

FUNDAMENTADO EN LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE AgNPs SINTETIZADAS POR UNA TÉCNICA VERDE", requisito para optar al título de Licenciado en Química en la Universidad Pedagógica Nacional, en este contexto, y considerando su rol como validador(a), es fundamental para nosotras conocer ciertos aspectos de su trayectoria académica, personal y profesional en el campo de la enseñanza de las ciencias. Toda la información que proporcione será tratada con la debida confidencialidad, y los datos personales serán resguardados, refiriéndose en el análisis con nombres ficticios.

Le agradecemos de antemano su valiosa disposición y tiempo para colaborar en este proceso.

Datos del profesor:

Nombres y apellidos	
Título de pregrado	
Título(s) de posgrado	
Programa en el que labora actualmente	
Institución educativa y/o universitaria	
Lugar de ubicación de la institución	
Correo de contacto	

Experiencia docente:

Años totales de experiencia profesional	
Años de experiencia docente	
Otro tipo de experiencia docente	