



**La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el
trabajo colaborativo:
La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar**

Mariana Uribe Correa
Cruz Ximena Arredondo Ayala

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciadas en Ciencias Naturales

Asesores

Diana María Rodríguez Ramírez, Magíster (MSc) en Educación
Ángel Enrique Romero Chacón (PhD) en Historia y Epistemología de las Ciencias

Universidad de Antioquia
Facultad de Educación
Licenciatura en Ciencias Naturales
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Uribe Correa y Arredondo Ayala, 2024)
Referencia	Uribe Correa, M., y Arredondo Ayala, C. X. (2024). <i>La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el trabajo colaborativo: La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE).

Asesores: Diana María Rodríguez Ramírez y Ángel Enrique Romero Chacón.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Wilson Antonio Bolívar Buriticá.

Jefe departamento: Cartul Valerico Vargas Torres.

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

Dedicatoria

En memoria de John Stiven Avendaño Vargas y Carolina Morcillo Molina.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Universidad de Antioquia por acogerme durante mi camino por la educación superior, a mis asesores Diana María Rodríguez Ramírez y Ángel Enrique Romero Chacón por su acompañamiento y poner a disposición sus conocimientos, a la profesora Marisol Lopera Pérez por ser una inspiración en el mundo académico, y a mi compañera Ximena Arredondo por haber sido soporte y complemento durante la escritura de este trabajo.

Mariana Uribe Correa

Agradezco al amor, ese que se manifiesta de tantas maneras en mi vida y que ha sido hogar, sostén y combustible. Aquel amor de Dios, mi familia y mis amigos que ha sido lo que me ha traído hasta aquí. Agradezco también a mis maestros, en forma de experiencias del pasado, estudiantes, compañeros, asesores y textos leídos; pues son ellos quienes me han permitido forjar la maestra que soy y que quiero ser.

Cruz Ximena Arredondo Ayala

Agradecemos de forma especial al Colegio San Ignacio de Loyola y a los y las participantes del semillero escolar de microbiología, ya que sin su apertura y disposición este proyecto no hubiera sido posible.

Tabla de contenido

1. Planteamiento de la problemática y justificación	15
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. Estado del arte.....	20
3.1 Enseñanza de las ciencias naturales y competencias	22
3.2 Experimentación en la enseñanza de la microbiología	24
3.3 Semilleros escolares y desarrollo de competencias.....	27
4. Fundamentación conceptual.....	31
4.1 La HFC en la EC	31
4.2 La experimentación cualitativa exploratoria desde la HFC	36
4.3 Historia y enseñanza de la microbiología y su relación con la experimentación cualitativa exploratoria.....	41
4.4 Semilleros escolares de investigación en ciencias para el desarrollo de competencias para el siglo XXI.....	50
5. Marco metodológico	55
5.1 Paradigma y enfoque.....	55
5.2 El caso y su contexto.....	57
5.3 Técnicas para el registro de la información	58
5.4 Criterios de análisis de la información	59
5.5 Red de categorías de análisis.....	62
5.6 Criterios de credibilidad	64
5.7 Enfoque didáctico para la comprensión del caso	66
5.8 Consideraciones éticas	70
6. Hallazgos.....	72

6.1 Construcción de conceptos referentes a la microbiología	72
6.2 Experimentación cualitativa exploratoria en torno a la microbiología	79
6.3 Experimentación y desarrollo de competencias: Trabajo colaborativo y responsabilidad personal y social	87
7. Consideraciones finales y conclusiones	99
8. Referencias.....	104
9. Anexos	112

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Palabras clave usadas en la búsqueda documental con su sinónimo y traducción</i>	20
Tabla 2 <i>Unidades de análisis pertenecientes a cada uno de los núcleos temáticos</i>	21
Tabla 3 <i>Codificación de los instrumentos de registro de información utilizados durante cada sesión de las secuencias didácticas</i>	60
Tabla 4 <i>Red de categorías e indicios para el análisis de la información registrada durante el desarrollo de las secuencias didácticas</i>	62

Lista de figuras

Figura 1 <i>Dibujo de los microscopios de van Leeuwenhoek realizado por Henry Baker en 1756</i>	43
Figura 2 <i>Ilustración cambios en la Caja de Petri a través del tiempo</i>	46
Figura 3 <i>Retrato de Louis Pasteur en su laboratorio usando un microscopio</i>	48
Figura 4 <i>Matriz de análisis</i>	61
Figura 5 <i>Técnica-instrumento de registro de la información en relación con la sesión y las categorías de análisis</i>	65
Figura 6 <i>Esquema general de la primera secuencia didáctica</i>	67
Figura 7 <i>Actividad de observación con lupas y lentes</i>	68
Figura 8 <i>Esquema general de la segunda secuencia didáctica</i>	69
Figura 9 <i>Hongo penicillium 40x</i>	70
Figura 10 <i>Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría</i>	73
Figura 11 <i>Fotografía del aporte del participante P1 a la cartelera inicial</i>	74
Figura 12 <i>Digitalización de la primera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI inicial para el participante P3</i>	75
Figura 13 <i>Digitalización de la primera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI final para el participante P1</i>	75
Figura 14 <i>Fragmento de la infografía realizada por el participante P7</i>	78
Figura 15 <i>Digitalización de la tercera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI final para el participante P7</i>	79
Figura 16 <i>Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría</i>	81
Figura 17 <i>Digitalización de la cuarta y quinta respuestas al cuestionario KPSI final del participante P5</i>	82
Figura 18 <i>Digitalización de la séptima respuesta para el cuestionario KPSI final del participante P5</i>	87

Figura 19 *Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría*89

Figura 20 *Digitalización de la octava respuesta para el cuestionario KPSI inicial y el cuestionario KPSI final del participante P5*90

Figura 21 *Digitalización de la novena respuesta para el cuestionario KPSI inicial y el cuestionario KPSI final del participante P5*91

Figura 22 *Fotografía del aporte del participante P3 a la cartelera inicial*.....92

Figura 23 *Fotografía del aporte del participante P3 a la cartelera final*.....93

Figura 24 *Fotografía del aporte del participante P2 a la cartelera final*.....94

Siglas, acrónimos y abreviaturas

EC	Enseñanza de las Ciencias
HFC	Historia y Filosofía de las Ciencias
NOS	Nature of Science (Naturaleza de la Ciencia)

Resumen

El presente trabajo se configura como informe final del proyecto de investigación realizado durante la Práctica Pedagógica Final de la Licenciatura en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia. Su objetivo fue el analizar de qué manera la experimentación cualitativa exploratoria aporta al desarrollo de competencias para el siglo XXI, en el marco de un semillero escolar en microbiología, realizado en el Colegio San Ignacio de Loyola de Medellín. Se asumieron como fundamentos conceptuales la historia y filosofía de las ciencias en la enseñanza, la experimentación cualitativa exploratoria, la historia y enseñanza de la microbiología en relación con este enfoque de investigación, y los semilleros escolares para el desarrollo de competencias. Teniendo en cuenta el enfoque didáctico basado en prácticas científicas, se desarrollaron dos secuencias didácticas que permitieron el abordaje de la experimentación cualitativa exploratoria desde los aspectos epistémicos y no epistémicos de la microbiología como ciencia. Cabe resaltar que la investigación fue de tipo cualitativa interpretativa desde el método estudio de caso y que, a su vez, el registro y el análisis de los datos fue realizado teniendo en cuenta la red de categorías e indicios diseñada, y los fundamentos conceptuales ya mencionados. Dicho análisis permitió evidenciar que la experimentación cualitativa exploratoria aporta al desarrollo de competencias como lo son la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo, y que el abordaje de la microbiología desde el semillero escolar es idóneo para tal fin.

Palabras clave: experimentación cualitativa exploratoria, desarrollo de competencias, responsabilidad personal y social, trabajo colaborativo, microbiología, semillero escolar.

Abstract

This work is configured as the final report of the research project conducted during the Final Pedagogical Practice of the Bachelor of Arts in Natural Sciences Education at the University of Antioquia. Its objective was to analyze how qualitative-exploratory experimentation contributes to the development of 21st-century skills, within the framework of a microbiology extracurricular workshop, carried out at the San Ignacio de Loyola School in Medellín. The conceptual foundations assumed were the history and philosophy of science in education, qualitative-exploratory experimentation, the history, and teaching of microbiology in relation to this research approach, and extracurricular workshops for the skills development. Taking into account the didactic approach based on scientific practices, two didactic sequences were developed that allowed the perspective of exploratory qualitative experimentation from the epistemic and non-epistemic aspects of microbiology as a science. It should be noted that the research was qualitative interpretative from the case study method and that, in turn, the recording and analysis of the data was carried out considering the network of categories designed, and the conceptual foundations already mentioned. This analysis made it possible to demonstrate that exploratory qualitative experimentation contributes to the development of skills such as personal and social responsibility and collaborative work, and that the approach to microbiology from the extracurricular workshops is ideal for this purpose.

Keywords: qualitative-exploratory experimentation, skills development, personal and social responsibility, collaborative work, microbiology, extracurricular workshop.

Introducción

En la sociedad actual el campo de la educación representa uno de los retos más significativos, ya que persisten enfoques educativos que replican un sistema hegemónico, obstaculizando la construcción de un mundo más justo. Esto se refleja en algunas aulas de clase que utilizan métodos tradicionales, limitando el desarrollo de competencias necesarias para enfrentar los desafíos del siglo XXI. En el contexto colombiano, la enseñanza de las ciencias, especialmente de la microbiología, por lo general sigue patrones similares, con pocos enfoques prácticos e integradores.

La necesidad de espacios educativos que fomenten el pensamiento complejo, potencien el desarrollo de competencias para hacerle frente a los desafíos de este siglo y permitan la exploración de la ciencia es evidente. Por lo tanto, la educación en ciencias debe promover el diálogo, el debate y la reflexión, implicando cambios en los objetivos, las actividades y la evaluación dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje. Para promover esto y lograr cambios significativos es importante la inclusión de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias dentro de la enseñanza, ya que de esta manera se humaniza la ciencia y se les permite a los estudiantes relacionarse con la construcción del conocimiento científico.

En este orden de consideraciones, la experimentación cualitativa exploratoria definida desde la perspectiva de la filosofía de las prácticas experimentales, se constituye en una manera de construir conocimiento científico a partir de la creatividad y las variaciones con los instrumentos y las técnicas, para llegar a establecer regularidades y perspectivas teóricas. Esto se evidencia en el desarrollo de las ciencias, sobre todo en las primeras fases, y se puede incluir en la enseñanza de disciplinas científicas para acercar a los estudiantes a diferentes formas de experimentación y contextualizarlos sobre cómo se constituye el conocimiento científico. Además, se destaca la importancia de los espacios fuera del aula regular, como los semilleros escolares de investigación, que por su naturaleza autónoma y su flexibilidad permiten abordar la experimentación de diferentes maneras y tienen gran potencial para desarrollar competencias esenciales para siglo XXI, como la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo.

Uniendo lo anteriormente mencionado al interés personal por las temáticas que tenemos como investigadoras, construimos el presente Trabajo de Grado que se constituye en el informe final del proyecto de investigación inscrito en la línea de Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias, apoyada por el Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza – ECCE, desarrollado en el marco de la Práctica Pedagógica Final de la Licenciatura en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia, en el contexto del Colegio San Ignacio

de Loyola de Medellín. Este trabajo investigativo consta de ocho apartados a saber: planteamiento de la problemática y justificación, objetivos, estado del arte, fundamentación conceptual, marco metodológico, hallazgos, y consideraciones finales y conclusiones. A continuación, presentamos algunos aspectos relevantes de estos apartados.

En el apartado del planteamiento de la problemática y justificación, profundizamos en los obstáculos que puede presentar la educación en ciencias, entre ellos la utilización de métodos tradicionales, la falta de suficientes espacios para la experimentación o una concepción positivista de estos, la falta de formación en competencias y la poca integración de la microbiología como disciplina en el currículo escolar. Es por esto por lo que proponemos el desarrollo de un semillero escolar, espacio alternativo al aula regular, basado en la experimentación cualitativa exploratoria en la enseñanza de la microbiología para la formación en competencias para el siglo XXI.

En cuanto al estado del arte, retomamos las tres primeras fases del proceso de revisión bibliográfica descritas por Hoyos Botero (2000), las cuales consisten en la búsqueda, sistematización y análisis de documentos e investigaciones precedentes relacionados con la presente propuesta investigativa. En un primer momento, realizamos una búsqueda bibliográfica por diversas bases de datos utilizando las palabras clave de la investigación. Posteriormente, organizamos la información en tres núcleos temáticos. Por último, realizamos el análisis interpretativo de dichos núcleos temáticos, llegando a aportaciones relevantes para la investigación.

En cuanto a la fundamentación conceptual, abordamos diversos autores que dan cuenta de los aspectos teóricos y conceptuales más relevantes para la investigación y que se constituyen en insumos para diseñar nuestra propuesta didáctica, enriquecer la investigación, nuestra visión como investigadoras y el posterior análisis de la información. De este modo, agrupamos la información en cuatro apartados que son: la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias (EC), la experimentación cualitativa exploratoria desde la HFC, la historia y la enseñanza de la microbiología y su relación con la experimentación cualitativa exploratoria, y los semilleros escolares de investigación en ciencias para el desarrollo de competencias para el siglo XXI.

Para el apartado del marco metodológico, en un primer momento, profundizamos en el paradigma, el enfoque y la técnica de investigación, siendo este un trabajo de carácter cualitativo, interpretativo y basado en el método del estudio de caso. Hicimos énfasis en el estudio de caso desde lo teórico, pero además presentamos los aspectos prácticos que surgieron de la intervención en el semillero escolar realizado en el Colegio San Ignacio de Loyola.

Posteriormente presentamos las dos secuencias didácticas diseñadas y llevadas a cabo en el semillero y las categorías utilizadas para analizar la información registrada.

En los hallazgos, por su parte, presentamos los resultados, el análisis y la interpretación de la información registrada durante las diferentes sesiones del semillero, teniendo en cuenta las categorías de análisis que son: construcción de conceptos referentes a la microbiología, experimentación cualitativa exploratoria en torno a la microbiología, y experimentación y desarrollo de competencias. En este apartado pudimos evidenciar que existen unidades de análisis que respaldan cada una de las tres categorías y que los estudiantes lograron identificar la existencia de diferentes tipos de microorganismos, tomar decisiones respecto a la microbiología en pro del bienestar propio y colectivo, y entender el conocimiento científico como una construcción colaborativa.

Por último, en las consideraciones finales y conclusiones destacamos de qué manera la experimentación cualitativa exploratoria permitió aportar a la promoción de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo en los participantes del semillero de microbiología, y cómo las experiencias en este espacio se constituyeron en insumo para las reflexiones en torno a la experimentación, la HFC, y la EC. Asimismo, en este apartado puntualizamos en las implicaciones pedagógicas de esta propuesta tanto a nivel personal como en la didáctica de las ciencias, por qué puede constituirse en algo innovador y las posibilidades de investigación que emergieron de esta propuesta.

1. Planteamiento de la problemática y justificación

A lo largo de la historia, el ser humano ha tenido que enfrentarse a diversos tipos de crisis, dificultades que han ido evolucionando con el paso del tiempo y el desarrollo de las sociedades. Hace algunos cientos de años, por ejemplo, se luchaba contra una crisis de escasez de alimentos que hoy en día ha desembocado en una de distribución alimentaria. En la actualidad, uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la sociedad es la crisis del sentido de la educación; esto se debe, en parte, a que diversas corrientes educativas apuntan a la replicación de un sistema hegemónico que no permite la transformación del mundo (Nussbaum, 2010) ni posibilita la construcción de una sociedad más equitativa y justa.

Dicha problemática permea algunas instituciones educativas, en las cuales se enseña aún desde métodos tradicionales basados en la replicación de información (Aguirre Quintero, 2020) y en las que la rigidez curricular está a la orden del día, lo cual dificulta la formación de ciudadanos en competencias que les permitan afrontar las demandas que el siglo XXI trae consigo. Esto se puede evidenciar, concretamente, en la EC en algunas escuelas del país, enseñanza que, aunque debería posibilitar a los estudiantes el abordaje de problemas científicos, en ocasiones se limita a transmitir información dejando de lado, por ejemplo, una parte fundamental en la construcción del conocimiento científico como lo es la experimentación (Morcillo Molina, 2015).

Una de las ciencias que tiene potencial para aportar al desarrollo de competencias desde la experimentación, es la microbiología. En primer lugar, debido a su pertinencia en la actualidad desde la pandemia por COVID-19 en temáticas como la desinfección de alimentos y espacios, la vacunación y los mecanismos de difusión de los microorganismos causantes de enfermedades infecciosas. En segundo lugar, ya que dicho conocimiento permite la toma de decisiones informadas, lo que está directamente relacionado con las competencias necesarias para el siglo XXI, según la Fundación Omar Dengo (2014). Por último, ya que los orígenes y desarrollo de la microbiología están directamente ligados con la experimentación, su enseñanza debería, asimismo, remitirse a prácticas experimentales.

Aun considerando esta potencialidad y su relevancia hoy en día, la microbiología en muchas ocasiones no es abordada a profundidad en espacios del aula regular ni en otros espacios escolares. Este es el caso del Colegio San Ignacio de Loyola de Medellín, en el cual el énfasis mayoritario que se hace respecto a microbiología es únicamente en el área de la microscopía, en algunos grados como 7° donde se hace énfasis en la teoría celular (Colegio San Ignacio, 2023); sin embargo, dentro de los referentes temáticos a abordar en los demás grados, esta

ciencia o contenidos relacionados con ella no se hacen presentes. Por otro lado, en el Colegio San Ignacio existen los espacios de semilleros de profundización, pensados como un complemento a las clases regulares, donde los estudiantes pueden aprender de forma voluntaria acerca de temáticas de interés. Usualmente estos semilleros son de ciencias, sin embargo, no hay alguno en el que se aborde la microbiología o en la formación en competencias, a pesar de que la experimentación sí se hace presente y se constituye en una de las formas principales a través de la cual se acerca a los estudiantes al conocimiento. Adicionalmente, es necesario mencionar que en el colegio no hay una persona encargada de coordinar los semilleros y estos simplemente son propuestos y ejecutados por los profesores que así los deseen, pero no hay directrices claras en torno a cómo deben realizarse.

A partir de lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera la experimentación cualitativa exploratoria permite aportar al desarrollo de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo, desde la enseñanza de la microbiología en el marco de un semillero escolar?

Para dar respuesta a esta pregunta de investigación y abordar las situaciones problemáticas mencionadas, es necesario aproximarse a la educación en ciencias desde una perspectiva transformadora. Para esto, en primer lugar, Keddie (2011) propone la educación como un mecanismo responsable de abordar las crisis actuales y lograr la transformación del mundo en el que vivimos a uno más justo, más humano y menos cruel. Asimismo, Cárdenas (2018) propone la posibilidad de “pensar los procesos de enseñanza y aprendizaje más allá de los modelos transmisionistas, apostando por el diálogo de saberes y la construcción colectiva del conocimiento con los estudiantes” (p. 75). Esto se evidenciaría en una educación en ciencias que no solo permita la enseñanza de contenidos científicos, sino también la formación de ciudadanías científicamente preparadas, es decir, ciudadanos activos al enfrentar problemas científicos, que posibiliten así el progreso hacia una sociedad más justa y equitativa (Macedo, 2016).

Con base en esto, se pueden construir espacios educativos escolares y no escolares que aporten a la construcción de un pensamiento complejo, planteen un conocimiento en el que la razón y la emoción se complementen, y donde se pueda ahondar en el significado de una ciencia escolar que eduque para la acción (Izquierdo et al., 2004). De este modo, la educación en ciencias debe permitirles a los estudiantes participar activamente de las cosas del mundo, y debe promover un espacio diverso y rico de diálogos, debates, cuestionamientos y posibilidades de cambio y reestructuración de ideas, así como el surgimiento de otras nuevas (Ravanel et al., 2009).

Por lo tanto, se hacen necesarios cambios que impliquen que los estudiantes se interesen en el aprendizaje durante toda la vida, se muevan con seguridad en niveles interdisciplinarios, trabajen en equipo, planifiquen, decidan, etc. Estos cambios están vinculados al desarrollo de competencias que se transforman en logros de aprendizajes más que en adquisición de conocimientos, lo cual compromete los objetivos de enseñanza y aprendizaje, el papel del profesorado, las actividades de enseñanza y la evaluación (Bolívar, 2007).

En este sentido, es importante mencionar que, dentro de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias juegan un papel muy importante, ya que a pesar de no tener la solución a las crisis que enfrenta nuestro mundo, sí permiten humanizar la ciencia y reconocer la relación que esta tiene con asuntos personales, éticos, culturales y políticos (Matthews, 1994). Esto, según Morcillo Molina (2015), contribuye a tener clases más estimulantes y reflexivas, permite una mayor comprensión de los contenidos científicos, fortalece el pensamiento crítico y brinda la posibilidad de evidenciar cómo se construye el conocimiento científico, para que los estudiantes vayan construyendo también su conocimiento propio.

Ahora bien, en esta visión de la educación en ciencias no se puede olvidar el papel de la experimentación, puesto que esta supone observaciones y experiencias igual de relevantes que la teoría. Además, hay que considerar que dentro de las formas que tiene la actividad experimental se reconoce la experimentación cualitativa exploratoria, como aquella que no tiene un marco conceptual preestablecido, pero que propicia las condiciones para la construcción del conocimiento a partir de las variaciones experimentales (Steinle, 1997). Así pues, este tipo de experimentación es relevante en la EC en tanto permite romper con la noción del experimento como un proceso subsidiario de la teoría o como medio único para la comprobación de hipótesis, y les posibilita a los estudiantes el acercamiento a la construcción de ciencia y al aprendizaje desde la exploración, la indagación y la creatividad.

Por otro lado, es importante considerar que la EC, desde la perspectiva señalada, no solo se da en espacios escolares y sus aulas, sino también en espacios como los semilleros escolares de investigación, que tienen un gran potencial educativo y transformador ya que potencian en sus participantes la autonomía, la responsabilidad por la comunidad, y el trabajo en equipo (Gallardo Cerón, 2014). Dichos valores están directamente asociados con las competencias para el siglo XXI, como lo son la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo.

Finalmente, se propone la creación de un semillero escolar de investigación en el Colegio San Ignacio de Loyola, para abordar la experimentación cualitativa exploratoria y potenciar a través de ella la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo en los

estudiantes participantes. Esto enfocado en la microbiología como ciencia que involucra la toma de decisiones informadas y es importante en nuestro contexto postpandemia.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar de qué manera la experimentación cualitativa exploratoria aporta al desarrollo de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo, desde la enseñanza de la microbiología en el marco de un semillero escolar.

2.2 Objetivos específicos

- Examinar los discursos de los participantes del semillero escolar alrededor de la experimentación en microbiología con relación a la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo.
- Describir los aportes de la experimentación cualitativa exploratoria al desarrollo de competencias para el siglo XXI a través de la enseñanza de la microbiología en un semillero escolar.

3. Estado del arte

Para la construcción del estado del arte, se retomaron las fases del proceso de revisión bibliográfica planteadas por Hoyos Botero (2000). Cabe aclarar que dicha propuesta se plantea para investigaciones del corte revisión documental; sin embargo, se retomó este paso a paso ya que permite presentar un saber acumulado en determinado momento histórico acerca de un área específica del saber, lo que posibilita la construcción del estado del arte. En concreto, se abordaron las tres primeras fases, que hacen referencia a la preparación, la descripción y la interpretación por núcleo temático.

En la Fase preparatoria, para la construcción de los núcleos temáticos iniciales, se identificaron las palabras clave de la investigación. Estas palabras apuntaron a los diferentes ejes a trabajar tales como: el aspecto disciplinar, las competencias para el siglo XXI, los semilleros escolares y la experimentación. Se incluyeron también sinónimos o especificidades de algunas estas palabras clave y sus correspondientes equivalentes en inglés, con el fin de tener en cuenta el mayor número de información relevante posible. Dichas palabras clave se evidencian en la Tabla 1.

Tabla 1

Palabras clave usadas en la búsqueda documental con su sinónimo y traducción

Palabra Clave	Sinónimos	Traducción al inglés
Semillero escolar	Clases extracurriculares Semillero de ciencias	Extracurricular activities Extracurricular workshop
Experimentación	Experimentación cualitativa Experimentos históricos Experimentación exploratoria	Qualitative-exploratory experimentation
Trabajo colaborativo	Trabajo en equipo Trabajo cooperativo	Group work
Responsabilidad	Responsabilidad personal Responsabilidad social	Responsibility Personal responsibility Social responsibility
Enseñanza básica	Primaria	Elementary school
Enseñanza media	Secundaria	Middle school High school
Competencias	Enseñanza por competencias	Skill based learning

Nota. Elaboración Propia.

En la fase descriptiva, la búsqueda bibliográfica se realizó a través de las bases de datos Eric y Dialnet y las páginas web Google Académico y Researchgate, utilizando la combinación de pares de las palabras clave y sus sinónimos, mencionadas anteriormente. Estas fueron separadas por el operador booleano AND para indicar inclusión de los diferentes términos en la búsqueda. Además, se utilizó la técnica de bola de nieve para expandir los resultados. Dicha búsqueda tuvo en cuenta unidades de análisis tanto nacionales como internacionales en los idiomas inglés y español, e incluyó unidades a partir del 2013 hasta el 2023, es decir un rango temporal de 11 años. Cabe resaltar que fue incluido un documento del año 2006: los Estándares Básicos de Competencias del Ministerio de Educación Nacional (MEN), esto debido a su importancia para el abordaje del tema en cuestión.

Los resultados obtenidos se depuraron tras la lectura de su título y resumen, resultando así un corpus de 18 documentos relevantes para la investigación que se presentan en la Tabla 2. Dichas unidades de análisis se agruparon, con base a sus características, en tres núcleos temáticos:

- Enseñanza de las ciencias naturales y competencias en la escuela.
- Experimentación en la enseñanza de la microbiología.
- Semilleros escolares en ciencias naturales y desarrollo de competencias.

Tabla 2

Unidades de análisis pertenecientes a cada uno de los núcleos temáticos

Referencia	Región	Base de datos	Núcleo temático
Cázares (2008)	México	Researchgate	Primero
Chamizo y Pérez (2017)		Dialnet	Primero
Jakavonyté-Staškuvienė y Ponomariovienė (2023)	Lituania	Google Académico	Primero
Ministerio de Educación Nacional (2006)	Colombia	Documento Gubernamental	Primero
Meydan (2022)	Turquía	Eric	Primero
Castro Sánchez y Ramírez Gómez (2013)	Colombia	Google Académico	Primero
Carrillo Suárez (2020)	Colombia	Google Académico	Segundo

García Arteaga y Morcillo Molina (2017)	Colombia	Google Académico	Segundo
García Viviescas y Moreno Sacristán (2020)		Dialnet	Segundo
López Luengo et al (2023)	España	Google Académico	Segundo
Morcillo Molina (2015)	Colombia	Google Académico	Segundo
Arango Benítez (2020)	Colombia	Google Académico	Tercero
Bonilla Ramírez (2022)	Perú	Google Académico	Tercero
Christison (2013)	Estados Unidos	Google Académico	Tercero
Galindo Suarez (2022)	Colombia	Google Académico	Tercero
Jiménez Jiménez y Loaiza Sierra (2019)	Colombia	Google Académico	Tercero
Puerto Sánchez (2016)	Colombia	Google Académico	Tercero
Saki y Darhour (2023)	Marruecos	Researchgate	Tercero

Nota. Elaboración Propia.

Durante la Fase interpretativa se adelantó un análisis por núcleo temático, como se presenta a continuación.

3.1 Enseñanza de las ciencias naturales y competencias

En este núcleo temático fueron encontradas similitudes entre el texto de Cázares (2008), que se enfoca en el contexto mexicano, y los Estándares Básicos de Competencias del MEN (2006), que atienden al contexto colombiano. De acuerdo con estos textos, en ambos países de América Latina el enfoque por competencias apareció entre los años sesenta y setenta y estuvo relacionado, en un primer momento, con la formación laboral para la industria, lo que implicaba vincular el sector productivo con la escuela para tener trabajadores capacitados y competentes. Posteriormente entre el 2000 y 2002, con el proyecto Tuning, se establecieron unas competencias para el mejoramiento de la calidad de la educación superior en Europa; esta visión se retomó con más fuerza en Colombia y México a partir de los primeros años de los 2000 desde una vertiente distinta, la de formar a los estudiantes de las escuelas no solo en conocimiento sino además en habilidades, actitudes y valores.

Según Cázares (2008), existen diversas nociones del concepto de competencias, pero en su mayoría coinciden en el abordaje de la formación integral del sujeto, para lo cual se necesita

promover el saber, el saber hacer y el saber ser, y la capacidad de usar lo aprendido para aplicarlo en la vida cotidiana. Aun así, la autora enfatiza que, de manera general, los programas escolares no dejan de estar centrados en la adquisición de conocimientos y fallan en integrar los otros aspectos que deberían ser igual de importantes. Para abordar dicha problemática, expone la necesidad de que las escuelas replanteen el enfoque por competencias, haciendo al estudiante partícipe de su propia formación para que así logre encontrar sentido a las actividades escolares.

Por otro lado, Chamizo y Pérez (2017) mencionan que, para que pueda darse un cambio curricular en pro de un real desarrollo de competencias, se debe tener una concepción de educación a través de las ciencias; es decir, abordar a las ciencias como una parte de la oferta educativa que está allí porque permite mejorar la educación de la persona en lo que respecta a sus ámbitos social y personal, siendo sus intereses y sus necesidades los que determinen la enseñanza. Esta modificación curricular, según los autores, implica la inclusión de aspectos relacionados con la historia, la NOS, y el quehacer científico, ya que estos aspectos permiten la vinculación con problemáticas del contexto de los estudiantes y aportan a la reflexión sobre el qué, el cómo y el quién hace ciencia.

En adición a esto, Chamizo y Pérez (2017) y Castro Sánchez y Ramírez Gómez (2013) coinciden en señalar que las actividades experimentales deben ser usadas en la educación en ciencias en el aula. Según Chamizo y Pérez (2017), aunque hay indicios de que las prácticas experimentales han tenido poco impacto en la comprensión de la ciencia por parte de los estudiantes, esto se debe a que son prácticas realizadas desde un enfoque tradicional, en las que los estudiantes siguen una receta y se preocupan únicamente por hacer las cosas de la manera correcta en un tiempo establecido. Para Castro Sánchez y Ramírez Gómez (2013), por su parte, la experimentación no debe estar limitada a un diseño del docente, sino que debe proporcionar al estudiante las condiciones para que la actividad experimental se adapte a su contexto.

Cabe resaltar que Castro Sánchez y Ramírez Gómez (2013), siguiendo una metodología de investigación aplicada de carácter descriptivo-interpretativo, realizaron un diagnóstico que les permitió reconocer una ruptura entre los documentos propuestos por el MEN para el abordaje de las competencias y la práctica docente en el aula. Como forma de hacerle frente a esta problemática, desarrollaron una propuesta didáctica con el enfoque de desarrollo de competencias científicas. Además, plantean en dicha propuesta didáctica unas etapas en las cuales los estudiantes debían reconocer y tomar conciencia de un problema de su contexto y posteriormente diseñar y aplicar estrategias para su solución.

Por otro lado, la investigación de Jakavonytė-Staškuvienė y Ponomariovienė (2023), contextualiza el enfoque por competencias en el país de Lituania. Las autoras, por medio de un estudio de caso, buscaron evidenciar en estudiantes de tercer grado de primaria la competencia digital y la competencia comunicativa. Mediante trabajo grupal, experimentos demostrativos y la creación de un poster, las investigadoras pudieron evidenciar en los estudiantes el desarrollo de las dos competencias anteriormente mencionadas. Según ellas, la educación desde el enfoque de competencias debe permitir múltiples formas de evaluar, teniendo en cuenta lo que el estudiante sabe y sabe hacer.

Por último, cabe resaltar el trabajo de Meydan (2022), un investigador turco quien hace referencia a la importancia de las competencias científicas, ya que estas permiten a los estudiantes mantenerse al día con los cambios y los desarrollos del siglo XXI. El autor realizó una investigación con el objetivo de determinar las percepciones de 169 docentes en formación respecto a las competencias científicas. Por medio de un análisis cuantitativo, pudo dar cuenta de que los docentes en formación presentaban competencias científicas como la observación, la experimentación, la indagación, la interpretación y la comunicación científica.

En conclusión, a partir de las unidades de análisis de este núcleo temático, se pone en evidencia la necesidad de involucrar conocimientos, habilidades, actitudes y valores en la EC, además de enseñar desde el interés y la vida cotidiana del estudiante abordando la historia de las ciencias y el quehacer científico. Está presente también la necesidad de abordar la educación desde el enfoque por competencias con el compromiso que lo requiere, desde el interés no solo por los aspectos conceptuales sino además por las habilidades, las actitudes y los valores que los estudiantes puedan desarrollar; en pocas palabras, procurar la formación integral de las y los alumnos.

Los aspectos anteriormente mencionados están en consonancia directa con el presente proyecto de investigación, el cual busca abordar una enseñanza de las ciencias naturales por medio de competencias. Esto con el fin de que los estudiantes desarrollen herramientas para afrontar los retos del siglo XXI, teniendo en cuenta la experimentación cualitativa exploratoria, la HFC y la vida cotidiana del estudiantado.

3.2 Experimentación en la enseñanza de la microbiología

En este núcleo temático se ubicaron varios documentos de interés. Según García Viviecas y Moreno Sacristán (2020), la escuela tradicionalmente ha enseñado ciencias naturales de una manera descontextualizada, en la que priman contenidos y terminologías,

dejándose de lado las prácticas experimentales. Las autoras problematizan la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela, y señalan la necesidad que existe de un cambio que propicie la formación de sujetos capaces de comprender y dar soluciones a problemas de su contexto. Para afrontar estos retos, resaltan el papel fundamental que tiene la experimentación, una experimentación contextualizada y alejada del tinte positivista que se le ha dado tradicionalmente.

Ahora bien, centrándose en concreto en la experimentación, García Viviescas y Moreno Sacristán (2020) presentan al experimento como una estrategia indispensable para el estudio de fenómenos de la naturaleza a lo largo de la historia, siendo los experimentos posibilitadores de respuestas a innumerables cuestiones científicas. Teniendo esto en cuenta, las investigadoras establecen una distinción entre experimento científico y experimento escolar, dándole a este último la misma importancia que al primero. Esto debido a que el experimento escolar favorece la transformación de la realidad de los estudiantes, lo que implica no solo construcción de conocimiento escolar sino también conocimiento y transformación de la vida y para la vida.

Asimismo, según García Viviescas y Moreno Sacristán (2020), la noción de experimentación adquirida con la corriente positivista es la de una perspectiva comprobadora, verificadora e incluso falseadora de teorías, visión que ha permanecido por muchos años y que reduce la importancia del experimento en la construcción del conocimiento. En este sentido, se manifiestan como necesarias prácticas experimentales que vayan más allá de un guía paso a paso y en las que se logren crear interacciones reales entre la teoría y el experimento. Con este mismo propósito, Morcillo Molina (2015) plantea la necesidad de involucrar el uso de la historia de la ciencia en la construcción de conocimiento, pero no cualquier tipo de historia, sino una que permita reconocer los procesos científicos reales y reflexionar en torno a una ciencia más humana, teniendo en cuenta sus aspectos sociales, económicos y políticos.

Por su parte, García Arteaga y Morcillo Molina (2017) se preguntan por el aporte de la filosofía de las prácticas experimentales a la relación teoría-práctica, interrogante que cobra relevancia ya que la enseñanza tradicional ha reducido la actividad experimental a prácticas paso a paso sin una reflexión por parte de los docentes o los estudiantes. Los autores plantean que la actividad experimental siempre ha estado unida al desarrollo y construcción de la ciencia, no solo desde la experimentación cuantitativa guiada, visión común desde el positivismo, sino también desde la experimentación cualitativa exploratoria. Entonces, la experimentación cualitativa exploratoria está directamente ligada a la construcción de conocimiento científico, y recuperar este sentido de la experimentación es necesario para la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, el trabajo investigativo de Carrillo Suárez (2020) se enfocó en trascender de unas prácticas positivistas hacia una experimentación desde la construcción y la apreciación de fenómenos, características ligadas a lo cualitativo exploratorio. Para Carrillo Suárez (2020), este tipo de prácticas permiten un papel más activo y participativo por parte de los estudiantes y un ambiente de formulación de preguntas propias y de búsqueda de repuestas que favorecen la apropiación de mayores conocimientos y un direccionamiento investigativo del aprendizaje.

Ahora bien, en cuanto a la microbiología, López Luengo et al (2023) mencionan que ha sido una disciplina poco presente en los currículos escolares, y hacen referencia a la importancia de su enseñanza sobre todo en un contexto postpandemia por Coronavirus (COVID-19). Los autores realizaron su investigación con una muestra de 241 niños entre tres y cinco años, los cuales debían responder seis preguntas acerca de los virus, además de realizar un dibujo representándolos. La investigación permitió dar cuenta de que un alto porcentaje de los niños reconocen la palabra virus y pueden dar una definición de estos; además, los autores mencionan la importancia de la enseñanza de la microbiología desde edades tempranas.

Por otro lado, los trabajos de García Arteaga y Morcillo Molina (2017) y Morcillo Molina (2015) retoman la importancia de esta disciplina desde su historicidad y desarrollo. Ambas investigaciones proponen su enseñanza desde la experimentación y el uso de la HFC como una herramienta que, aunque tradicionalmente desde los planes de estudio ha estado descontextualizada y a la que no se le ha sacado mucho provecho, es potente en cuanto a la formación de los estudiantes. Se pone en evidencia entonces que lo importante en una actividad experimental desde la microbiología no es simplemente el resultado obtenido, sino la participación de factores como la infraestructura, el material, los instrumentos y la interacción humana.

Desde el trabajo de García Arteaga y Morcillo Molina (2017), en particular se aborda la enseñanza de la microbiología a partir de actividades experimentales fundamentadas en la HFC, tomando como caso de estudio el trabajo de Pasteur en cuanto a la fermentación de los microorganismos como un desarrollo, en gran medida, desde la experimentación cualitativa exploratoria. Se hace explícito que la microbiología, desde su origen, ha estado ligada a la experimentación y al desarrollo de instrumentos y que este tipo de prácticas ponen sobre la mesa aspectos culturales y sociales, necesarios si se quiere ser partícipe de transformaciones en la ciencia y la enseñanza.

Por su parte, el trabajo de Carrillo Suárez (2020) apunta a fortalecer la competencia argumentativa mediante prácticas de laboratorio en microbiología en ocho estudiantes de grado noveno, mediante el diseño y aplicación de una unidad didáctica de cuatro sesiones llamada 'El

mundo de los hongos', con la cual se analizó con los estudiantes el efecto de nanopartículas de plata sobre colonias de hongos. La autora encontró que, mediante la implementación de la unidad didáctica, se logró fortalecer en los estudiantes la competencia argumentativa, además de su deseo por aprender.

A su vez, la investigación de Morcillo Molina (2015) tuvo como intención reconocer la importancia de las actividades experimentales al enseñar microbiología. Esta investigación se desarrolló teniendo en cuenta tres fases: la primera, el análisis de guías de laboratorio de microbiología; la segunda, el análisis histórico del caso de la fermentación y la tercera, el diseño de una actividad de intervención en las prácticas experimentales de un curso de microbiología. La autora concluye que la HFC es relevante en la enseñanza, ya que permite conocer y entender el comportamiento del mundo, y plantea que el experimento debe ser una práctica activa y no pasiva por parte de quien lo desarrolla.

En conclusión, las unidades de análisis pertenecientes a este núcleo temático señalan la importancia que tiene la enseñanza de la microbiología y, dentro de esta, la experimentación. Una experimentación contextualizada que apunte a vertientes que, aunque trabajadas desde las etapas iniciales de la construcción de las ciencias, son novedosas en el contexto educativo de hoy en día. Este tipo de experimentación cualitativa, exploratoria, histórica y que vincula la teoría y la práctica, puede y debe darse desde disciplinas como la microbiología, la cual tiene un gran potencial para la formación de estudiantes.

Estos hallazgos respecto a la importancia que tiene la experimentación en la enseñanza de las ciencias respaldan la importancia de trabajos como la presente investigación, que apunta a la experimentación cualitativa exploratoria como una perspectiva desde la HFC. Además, durante la búsqueda de las unidades de análisis, se puede evidenciar que existen pocos trabajos que abordan la experimentación en la escuela desde la microbiología, lo que deja un nicho disponible para el desarrollo de este tipo de investigaciones.

3.3 Semilleros escolares y desarrollo de competencias

De manera general, las investigaciones pertenecientes a este núcleo temático se llevaron a cabo en colegios, buscando desarrollar competencias investigativas en los estudiantes por medio de semilleros de investigación en Ciencias Naturales. Las investigaciones realizadas en Colombia proponen un recorrido por la historia de los semilleros en el país, señalando que surgieron en las universidades como iniciativa de estudiantes y docentes, con el ánimo de tener espacios de investigación tempranos. Posteriormente, se trasladaron a algunos colegios,

configurándose como una “estrategia innovadora que permite la participación de los estudiantes en su proceso de enseñanza - aprendizaje, además contribuyen con el desarrollo de competencias investigativas” (Arango Benítez, 2020, p. 11).

Para Galindo Suárez (2022), los semilleros escolares son espacios de reflexión en los cuales los estudiantes tienen la posibilidad de explorar sus intereses. Los semilleros entonces no solo permiten a los estudiantes apropiarse conocimientos científicos, sino que posibilitan el compartir, confrontar e intercambiar ideas. Los semilleros escolares fomentan un proceso de enseñanza-aprendizaje contextualizado desde la vida de los estudiantes, que permite transformar no solo dichos procesos de enseñanza y de aprendizaje, sino también a los territorios, las comunidades educativas y la vida de los alumnos.

Ahora bien, en lo que respecta a las competencias, los trabajos de Arango Benítez (2020), Puerto Sánchez (2016) y Bonilla Ramírez (2022), se refieren al desarrollo de competencias investigativas y a la importancia de formar en estas desde la escuela, no solo para el mejoramiento del desempeño académico en los estudiantes sino para el desarrollo de destrezas, valores, actitudes, habilidades y procesos cognitivos para la vida de los alumnos. Por su parte, Jiménez Jiménez y Loaiza Sierra (2019) toman en consideración el desarrollo de la competencia de indagación como una competencia específica del área de ciencias naturales, con el fin de que el estudiante avance en su conocimiento del mundo desde la observación y la pregunta, posibilitando una actuación lógica y propositiva frente a este.

En este mismo sentido, la investigación de Arango Benítez (2020) tuvo como objetivo la determinación del desarrollo de competencias investigativas, en este caso la experimentación y la argumentación, por medio de actividades dentro del semillero de investigación. Durante las sesiones del semillero fueron realizadas siete actividades relacionadas con la pomarrosa en las cuales participaron un total de veintidós estudiantes de los grados noveno y décimo de la institución educativa. Durante seis de las sesiones se trabajó en desarrollar las propuestas investigativas que plantearon los estudiantes durante el primer encuentro, en aras de lograr el aprovechamiento y un mejor uso de la pomarrosa o *Syzygium malaccense* por parte de la comunidad educativa.

Por otro lado, el trabajo de Jiménez Jiménez y Loaiza Sierra (2019) se realizó con estudiantes de quinto grado de una institución educativa de la Costa Atlántica, y tuvo como objetivo el establecer la relación entre los semilleros de investigación y la competencia de indagación en el área de ciencias naturales. Las autoras abordaron la investigación desde un enfoque cuantitativo según lo planteado por Sampieri, proponiendo la aplicación y el análisis de un pre-test y un post-test para, por medio de métodos estadísticos, llegar a hallazgos que

relacionaran las variables. Con la aplicación de diferentes talleres durante las sesiones del semillero, las autoras observaron una mayor participación y un fortalecimiento del trabajo en equipo por parte de los estudiantes.

Por su parte, Puerto Sánchez (2016) aborda su investigación desde los planteamientos de la investigación-acción con un grupo de jóvenes de los grados octavo, décimo y once, estudiantes de una institución educativa de carácter público. El objetivo de la investigación fue el desarrollo de competencias investigativas en los estudiantes mediante la creación de un semillero de investigación en ciencias naturales y educación ambiental. Fueron realizadas actividades como un vivero, huertas comunitarias y reciclaje de diferentes materiales. Según el autor, la investigación permitió la promoción de la cultura investigativa y el trabajo en red dentro de la institución educativa y la comunidad en general.

La investigación de Bonilla Ramírez (2022) tuvo como objetivo el demostrar la influencia del programa de semilleros en el desarrollo de competencias en ciencia y tecnología. El trabajo se realizó con un grupo de cincuenta estudiantes del grado cuarto de primaria durante el año 2021 y atendió al enfoque cuantitativo. Mediante la aplicación de una serie de estrategias durante las sesiones del semillero, que tenían como foco a los estudiantes y su entorno, la autora evidenció, por ejemplo, una mayor facilidad por parte de los participantes para reconocer situaciones problemas de su mundo natural y dar respuestas basadas en conocimientos científicos.

Además, cabe resaltar la investigación realizada por Saki y Darhour (2023) con estudiantes de secundaria marroquíes. Los autores, mediante el uso de encuestas, exploraron las opiniones de los estudiantes con respecto al desarrollo de competencias durante diversas actividades extracurriculares en las que participaron, no necesariamente relacionadas con las ciencias. El registro y análisis de datos cuantitativos de 257 estudiantes arrojó que estas actividades promovieron habilidades como la participación cívica, la empatía, la solución de problemas, la cooperación y la toma de decisiones. Los autores resaltan las actividades extracurriculares como potenciadoras del desarrollo integral de los estudiantes, en cuanto les permiten adquirir habilidades para la vida.

Por último, Christison (2013) se refiere a que, en el contexto de Estados Unidos, se ha identificado que las actividades extracurriculares se correlacionan positivamente con el desarrollo de los estudiantes tanto en el aspecto académico como en el personal. En su revisión de literatura el autor rescata que, según investigaciones previas, algunas de las competencias que se desarrollan durante las actividades curriculares son la participación comunitaria, la solución de problemas, el liderazgo y el trabajo en equipo.

En conclusión, según las investigaciones abordadas, los semilleros escolares son espacios propicios para el desarrollo de competencias, tanto competencias científicas como competencias relacionadas con la vida personal de los estudiantes. Se resalta en esta revisión que las investigaciones relacionadas, en concreto, con semilleros en ciencias naturales, se preocupan de manera general por el desarrollo de competencias investigativas como lo son la indagación, la experimentación, y la argumentación. Este hallazgo deja una puerta abierta e invita a explorar las diferentes posibilidades que tienen los semilleros en ciencias naturales para el abordaje de otro tipo de competencias. Además, es importante aclarar que, aunque para afectos de esta categoría se presentan investigaciones enfocadas en los semilleros desde la escuela, esto no refleja el panorama general de investigaciones al respecto de los semilleros, pues una gran parte de estas se desarrollan en espacios universitarios.

4. Fundamentación conceptual

Para comprender a profundidad el presente proyecto de investigación y lo que representa la propuesta pedagógica que deriva de él es necesario puntualizar en los aspectos teóricos y conceptuales que se tienen como base, agrupados en cuatro apartados que son: la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias (EC), donde se contextualiza sobre la línea de investigación en la cual se enmarca el proyecto; la experimentación cualitativa exploratoria desde la HFC, donde se determina qué noción de experimentación direcciona la propuesta; la historia y la enseñanza de la microbiología y su relación con la experimentación cualitativa exploratoria; y los semilleros escolares de investigación en ciencias para el desarrollo de competencias para el siglo XXI, donde se muestra cómo los semilleros permiten desarrollar la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo.

4.1 La HFC en la EC

Vivimos en un mundo cambiante que día a día presenta nuevos retos a nivel educativo, que hacen de la innovación algo esencial. Específicamente, en el campo de la educación en ciencias se hace necesaria no solo la innovación, sino también la renovación, puesto que las ciencias no son estáticas y, por lo tanto, su enseñanza tampoco lo es. Dentro de ese contexto de renovación, se han comenzado a incluir las metaciencias en la enseñanza de las ciencias naturales, las cuales según Adúriz-Bravo (2005) son todas aquellas disciplinas que tienen como objeto de estudio a las ciencias, y que incluyen por tanto a la epistemología, la historia y la sociología de las ciencias; según el autor, estas disciplinas muestran, desde diferentes perspectivas, cómo es el conocimiento y la actividad científica, cómo acontece el cambio de las ciencias a través del tiempo, quiénes son y cómo han actuado los y las científicas a lo largo de la historia y dentro de las comunidades científicas, y cómo se relacionan las ciencias con diferentes disciplinas y formas no disciplinares de entender el mundo como el arte, la religión y el mito.

La inclusión de las metaciencias y sus reflexiones en la EC implica pues una transformación de la noción de ciencia, puesto que los enfoques tradicionales de EC, usualmente continúan presentando una concepción de ciencia propia de las corrientes positivistas y neo/positivistas, caracterizada por considerarse como una actividad elitista, ahistórica, estática, valiosa por sí misma y sin relación con los actores y los contextos involucrados en la construcción de conocimiento. Desde estos enfoques de enseñanza, se

prioriza el qué de la ciencia y se deja de lado el cómo y el para qué, por lo que no se ahonda en ella como una actividad humana (Adúriz-Bravo et al., 2023).

Ahora bien, las investigaciones e innovaciones en el campo de la EC que incluyen las metaciencias han ocupado lugar dentro de la didáctica de las ciencias bajo el nombre de su objeto de reflexión que es la Naturaleza de la Ciencia (NOS por sus siglas en inglés), considerada como un conjunto de ideas metacientíficas con valor para la enseñanza de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2005).

En este proyecto se retoma la definición de NOS, propuesta por Acevedo-Díaz y García-Carmona en 2016, quienes precisan que esta es un “meta-conocimiento sobre la ciencia, que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia por expertos en estas disciplinas, y por algunos científicos” (p.3). En síntesis, para estos autores la NOS abarca todo lo que caracteriza la ciencia como construcción de una forma especial de conocimiento.

Adicionalmente, la NOS se relaciona con la tradición CTS-EC (Ciencia, Tecnología y Sociedad en la Enseñanza de las Ciencias), e integra:

Reflexiones respecto a la forma de producir conocimiento científico, los métodos para validarlo, los valores implicados en las actividades de la ciencia, las relaciones con la tecnología, la naturaleza de la comunidad científica, las relaciones de la sociedad con la ciencia y la tecnología, y las aportaciones de la ciencia a la cultura y el progreso de la sociedad. (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016, p. 4)

De esta manera, se presenta una visión holística de la NOS, donde se integran características epistémicas, tecnológicas y sociológicas, tanto internas como externas, y se da lugar a los aspectos cognitivos y actitudinales involucrados en la construcción de conocimiento, como los sentimientos y las emociones que provoca la ciencia (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016). Son evidentes entonces las múltiples bondades y ventajas que presenta la inclusión de la NOS en la EC, entre ellas se destacan: las conexiones metacientíficas que brinda; los puentes que se logran establecer con las humanidades, la tecnología, la religión y el arte; la visión amplia de las ciencias y sobre las ciencias que muestra; y la generación de ideas novedosas en torno a las ciencias y su enseñanza. Esto hace que el profesorado de ciencias pueda promover la construcción de conocimientos escolares en concordancia con lo que hace la comunidad científica, a pesar de las limitaciones propias del ámbito educativo (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016).

En este sentido, la NOS se constituye en una reflexión teórica potente para entender mejor la ciencia, sus alcances y sus límites; es una producción intelectual valiosa que debería

hacer parte de la cultura; brinda herramientas de pensamiento y de discurso valiosas como la lógica formal, la discusión de ideas y la toma de decisiones; ayuda a superar obstáculos en el aprendizaje de los contenidos; genera ideas, materiales, recursos, enfoques para la enseñanza de las ciencias; y facilita la estructuración de los currículos al identificar modelos fundamentales de cada disciplina a enseñar (Adúriz-Bravo, 2005, p.12).

En concordancia con lo anterior, es importante mencionar que una EC de calidad implica directamente un mayor conocimiento y comprensión de la ciencia como actividad humana, que tiene una relación estrecha con la sociedad y la cultura; por lo que la educación científica desde un enfoque metacientífico puede aportar a una enseñanza de mayor calidad que contribuiría a conseguir mayores niveles de equidad y emancipación en el sistema educativo (Adúriz-Bravo et al., 2023, p. 3). Asimismo, según Izquierdo Aymerich et al., (2016), la HFC puede ayudar a recuperar el interés por el mundo natural y por el proceso de formalizarlo, y muestra ejemplos de cómo las personas se han enfrentado a ese mundo y le han dado sentido transformándolo de acuerdo con los valores propios de su época y de su contexto.

A pesar de la importancia y la potencialidad de este enfoque, hay una serie de dificultades para la inclusión de la NOS en la enseñanza, como son los obstáculos institucionales, la falta de tiempo de los docentes por su dedicación a impartir los programas de ciencias enciclopédicos, el carácter polisémico de la NOS, la falta de percepción de ella como contenido curricular de ciencias relevante, las resistencias frente a reformas e innovaciones educativas, la escasa atención a la NOS en las evaluaciones externas y el poco material didáctico que hay para abordarla (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016).

Para hacerle frente a estas dificultades, es necesario preguntarse en principio ¿qué tipo de ciencia enseñar?, puesto que la ciencia contemporánea se configura como una edificación de conocimiento que abraza la complejidad y surge desde un marco de valores. Esto hace que la ciencia en las escuelas deba abordarse desde la perspectiva de la complejidad, como una actividad destinada a la construcción significativa de nuevas formas de pensamiento, expresión, sentimiento y acción que posibiliten la comprensión y transformación del entorno. Así pues, uno de los objetivos de la educación en ciencias es desarrollar un pensamiento complejo, establecer un conocimiento en el cual la razón y la emoción se integren de manera complementaria, y profundizar en el significado de una educación científica que oriente hacia la acción (Izquierdo et al., 2004).

De acuerdo con esto, una alternativa para construir conocimiento científico escolar es a través de la inserción y la participación activa en un ejercicio que simule el desarrollo de la actividad científica. Es posible lograr un aprendizaje significativo mediante el enfoque de

prácticas científicas, o aprender ciencias haciendo ciencias, a esto se le denomina Enfoque Didáctico Basado en Prácticas Científicas, donde las prácticas científicas se conciben como un constructo que engloba todo lo que los científicos llevan a cabo en sus investigaciones, incluyendo tanto aspectos epistémicos como no epistémicos (García-Carmona, 2021). Esto está relacionado con reflexiones y conceptualizaciones acerca de la NOS que consideran lo epistémico y lo no epistémico como algo inherente a la actividad científica, pues dentro de la construcción del conocimiento científico entran en diálogo no solo la teoría y la práctica, si no también todo lo social, político, económico y cultural que se teje alrededor de ella.

Ahora bien, dentro de este contexto, lo epistémico está asociado con lo racional y lo cognitivo que está presente en el proceso de justificación del conocimiento científico en sí, por ejemplo, a través de argumentos y explicaciones basadas en pruebas científicas y marcos teóricos de la ciencia. Lo epistémico también incluye “las formas socialmente organizadas e intencionadamente establecidas, que emplean los miembros de una comunidad para proponer, comunicar, evaluar y legitimar el conocimiento dentro de un marco disciplinar.” (Kelly, 2008, como se citó en García-Carmona, 2021). Mientras que lo no epistémico hace referencia a los factores de naturaleza sociológica, que influyen e intervienen en la construcción del conocimiento científico e incluyen aspectos afectivos, contextuales, conductuales, éticos, comunicativos, organizativos, políticos y culturales (Acevedo-Díaz 2006; Carrier 2013; Elliott y McKaughan 2014; Gandolfi 2019; García-Carmona y Acevedo-Díaz 2018; Koster y de Regt 2020; Parker y Winsberg 2018 como se citó en García-Carmona, 2021). Esto pone en evidencia la relación que tiene el Enfoque Didáctico Basado en Prácticas Científicas con la NOS y la HFC, ya que permite incluir en la EC tanto lo racional o cognitivo, como la sociología interna y externa de las ciencias, presentando una visión integradora de la actividad científica.

En relación con esto, es relevante considerar que la inclusión de este enfoque en la EC y la participación en prácticas científicas, epistémicas y no epistémicas, implica que los estudiantes pongan en juego procesos cognitivos, habilidades procedimentales y sus conocimientos de la ciencia y sobre la ciencia (Duschl 2008; García-Carmona y Acevedo-Díaz 2018 como se citó en García-Carmona, 2021). Por tal motivo, la importancia y la principal aportación de este enfoque no radica solo en las distintas prácticas novedosas que puede proponer, si no, en cómo y para qué se articulan en las clases de ciencias para mejorar las competencias científicas de los estudiantes (García-Carmona, 2021).

Adicionalmente, desde este enfoque la interacción social cobra gran relevancia, ya que, así como la ciencia es el resultado de un proceso colectivo, la EC debe basarse en la cooperación y la colaboración dentro de los procesos de aprendizaje, puesto que las prácticas se aprenden a

partir de la participación y la interacción con los miembros de comunidades de aprendizajes. De esta manera, el conocimiento científico se constituye también en un producto negociado entre las personas de un grupo social, a partir de discusiones basadas en razonamiento, persuasión, uso de datos, etc (Kelly, McDonald y Wickman 2012 como se citó en García-Carmona, 2021).

Por otro lado, Osborne (2014 como se citó en García-Carmona, 2021) plantea que la participación en prácticas científicas en entornos escolares tiene sentido solo si: (a) contribuye al desarrollo de una comprensión amplia y profunda de lo que sabemos, de cómo lo sabemos y de los principios que guían la práctica científica; (b) constituye un medio más efectivo para adquirir ese conocimiento; y (c) ofrece una representación auténtica de la ciencia. Desde la perspectiva de Ford (2015 como se citó en García-Carmona, 2021), aprender ciencia mediante prácticas científicas implica: (a) poseer conocimientos específicos para participar en diversas prácticas, diferentes de las habilidades procedimentales generales; (b) reconocer la interrelación entre las distintas prácticas, ya que no son independientes entre sí; y (c) destacar la conexión entre la acción de hacer ciencia y el proceso de aprendizaje.

Por lo anterior, en este proyecto se implementa el Enfoque Didáctico Basado en Prácticas Científicas, donde se consideran los aspectos epistémicos y no epistémicos de las ciencias, se recontextualizan hechos históricos y se adecúan procedimientos experimentales relevantes para la construcción y la comprensión del conocimiento científico. En este caso particular se tiene como contexto disciplinar la microbiología, como contexto metacientífico la historia y la filosofía de esta disciplina y como contexto pedagógico la manera en la que se lleva todo esto a los estudiantes con el objetivo de desarrollar en ellos competencias para el siglo XXI.

Cabe resaltar que, desde dicho enfoque didáctico, se hace una diferenciación entre las prácticas científicas y las prácticas científicas escolares. Estas últimas, según García-Carmona (2021), tienen sentido solo si: ayudan a los estudiantes a comprender de manera amplia conocimientos científicos, tanto desde lo epistémico como lo no epistémico; constituyen un medio efectivo para el desarrollo de dicho conocimiento; y presentan una imagen fidedigna de la ciencia, reconociendo sus prácticas sociales. Teniendo esto en cuenta, las dos secuencias didácticas desarrolladas y aplicadas durante las sesiones partieron de estas prácticas científicas escolares y sus principios de sentido.

Dentro de las premisas de este enfoque didáctico se hace sumamente importante la recontextualización de saberes, entendida según Castillo Ayala (2008) como una actividad que no se limita a llevar un conocimiento de una fuente a un destino, sino que permite conocer el

contexto de origen y el de llegada para que exista un diálogo de saberes entre ellos. La recontextualización posibilita procesos de construcción de sentido, logrando entenderse la enseñanza de las ciencias como un espacio de desarrollo y producción de conocimiento científico.

Se pueden proponer secuencias de actividades para aprender ciencia haciendo ciencia, poniendo en diálogo procesos cognitivos, habilidades procedimentales, conocimientos científicos y metacientíficos. Dichas secuencias de actividades se pueden organizar a través de un esquema que permite planear objetivos de aprendizaje epistémicos relacionados con la planificación y la consecución de investigaciones, la formulación de preguntas, la elaboración de explicaciones científicas y la participación en la argumentación a partir de pruebas; además permite proponer objetivos de aprendizaje no epistémico asociados con las relaciones profesionales y personales en la comunidad científica, la comunicación científica y las habilidades retóricas en la persuasión de ideas científicas. Debido a que este enfoque se nutre de la HFC, este esquema de planeación también incluye un apartado de recontextualización donde se describen los recursos y/o fuentes de la HFC en los que se fundamenta la propuesta de enseñanza, y los procedimientos y criterios tenidos en cuenta para llevar estas temáticas al contexto escolar particular. Finalmente, se describen las actividades que se llevarán a cabo y la forma en la que se realizará la evaluación de la propuesta; una descripción más detallada de esto y la manera en la que se evidencia en el proyecto de investigación se describe en el apartado de metodología.

4.2 La experimentación cualitativa exploratoria desde la HFC

Usualmente, se considera que las ciencias naturales son de carácter experimental, por lo que su enseñanza por lo general está permeada por la experimentación, en tanto constituye una forma de construir conocimiento que permite vislumbrar a su vez cómo los estudiantes abordan y comprenden los conceptos científicos en los espacios escolares. Sin embargo, hay diferentes concepciones de experimentación, partiendo de que en principio experimentar es un proceso complejo, en el que se conjugan profundamente acciones y consideraciones, instrumentos y teorías, espacios y materiales, actores y cuestiones (Steinle, 2003).

A lo largo de la historia se han tejido concepciones en torno a la experimentación como algo complementario a la teoría o que está al servicio de ella, concepciones que se han extrapolado a modo de prejuicio en las nociones de ciencia extendidas en la sociedad y llevadas a las aulas. En el presente proyecto de investigación se asume la perspectiva de la denominada

Filosofía de las Prácticas Experimentales, desde la cual se atribuye al experimento una autonomía propia en los procesos de construcción de conocimiento científico, y se considera que tanto la teorización como la experimentación deben ser reconocidos como dimensiones fundamentales, entre las que no hay una por encima de la otra (Hacking, 1996, como se citó en Ferreirós y Ordóñez, 2002).

Desde esta perspectiva, el experimento amplía la experiencia y dinamiza la teorización, implicando que ya no se pueda concebir como algo meramente subsidiario a la teoría, como se hacía desde la corriente positivista; la experimentación, en este sentido, tiene una vida propia, independiente de la teoría (Ferreirós y Ordóñez, 2002) y, por tal motivo, se hace imperativo reconocer que “el experimento, en todas sus dimensiones materiales, culturales y sociales, sirve como herramienta central en la generación de conocimiento” (Steinle, 2002, p. 409).

Como mencionan Amelines y Romero Chacón (2014), la transformación del papel de la experimentación se nutre con los estudios de Latour (1991), Shapin (1991), y Latour y Woolgar (1995) desde la perspectiva sociológica de la dinámica científica, donde la experimentación se muestra como un proceso discursivo y de argumentación, donde se ponen en juego las relaciones entre lo conceptual y lo experimental en la construcción del conocimiento científico (Amelines y Romero Chacón, 2014).

Desde esta significación, es importante mencionar la clasificación cuatripartita de la experimentación propuesta por Ferreirós y Ordóñez (2002), al establecer una doble distinción de la experimentación, basada en el rol que esta tiene en relación con la dimensión conceptual y su intencionalidad. Así pues, los autores proponen, por una parte, la diferenciación entre experimentos cuantitativos y experimentos cualitativos y, por otra parte, la clasificación entre experimentación guiada y experimentación exploratoria. Según los autores, desde la visión positivista y las visiones simplificadas del método científico, las teorías se construían partiendo de mediciones y datos cuantitativos con una estructura precisa a seguir, por lo que los experimentos cuantitativos eran el referente en las investigaciones desplazando la experimentación cualitativa, que ha sido relevante en la HFC en los procesos de formación de conceptos y datos (Ferreirós y Ordóñez, 2002).

También se puede distinguir entre experimentación exploratoria y experimentación guiada. Desde la experimentación guiada los experimentos se realizan teniendo una teoría bien formada en mente, desde la primera idea, pasando por el diseño específico, la ejecución y la evaluación. A pesar de que la experimentación guiada no es necesariamente una prueba de teorías o de hipótesis, sí se realiza con expectativas muy concretas sobre los posibles resultados, y los instrumentos son diseñados a partir de una pregunta teórica bien formulada y sólo para

ella (Steinle, 1997, p.70). Por su parte, la experimentación exploratoria está impulsada por el deseo elemental de averiguar conceptos y clasificaciones adecuados mediante los cuales se puedan formular y obtener regularidades empíricas. Este tipo de experimentación usualmente tiene lugar en aquellos periodos del desarrollo científico en los que por las razones que sean no se dispone de una teoría bien formada o ni siquiera de un marco conceptual que se considere fiable. Pese a esto, la actividad experimental exploratoria puede ser muy sistemática y regirse por directrices típicas, donde la variación y la modificación de las condiciones experimentales tiene un lugar muy importante (Steinle, 1997).

Es necesario puntualizar que a pesar de que la experimentación exploratoria no está impulsada por la teoría, no es la contrapartida de la experimentación guiada, ya que puede haber varios tipos de experimentación no impulsada por la teoría y, “la experimentación exploratoria no es más que una de ellas, a saber, la que tiene como objetivo encontrar reglas empíricas y sistemas de esas reglas”. (Steinle, 1997, p.71). No obstante, el contraste de la experimentación exploratoria con la guiada no solo es visible en los diferentes objetivos epistémicos (búsqueda de regularidades frente a comprobación de expectativas), sino también en el carácter de las directrices de la actividad experimental. Por ejemplo, las directrices más bien inespecíficas de la experimentación exploratoria tienen un carácter metodológico, y dan lugar a una variedad de experimentos muy dispersos; mientras que los experimentos guiados tienen desde el principio una ordenación con una teoría formulada, aunque quizá provisional, como condición previa, y están determinados en todos sus detalles esenciales por esta. Por lo tanto, con la experimentación guiada no se trata de una amplia variedad, sino de una única y elaborada ordenación (Steinle, 2002).

Otra diferencia entre la experimentación guiada y la exploratoria es el carácter de los instrumentos y aparatos utilizados. Los instrumentos para el trabajo exploratorio deben permitir una gran multiplicidad de variaciones y estar abiertos a una amplia gama de resultados, incluso inesperados; mientras que desde la experimentación guiada los instrumentos se diseñan específicamente para un único efecto, las posibilidades de variación son mucho más limitadas, al igual que la apertura a resultados que no se encuentran dentro del rango de expectativas (Steinle, 2002).

En síntesis, se puede decir que la experimentación exploratoria se trata de probar lo que puede hacerse con el nuevo experimento, instrumento o dispositivo, y variar imaginativamente las circunstancias para ver qué pasa, lo cual aporta al desarrollo de nuevos conceptos. Un ejemplo de esto es la actividad exploratoria que tiene lugar cuando se encuentra o se inventa un nuevo instrumento o dispositivo experimental (Ferreirós y Ordóñez, 2002).

De acuerdo con estas caracterizaciones, Ferreirós y Ordóñez (2002) consideran que “convendría considerar lo exploratorio y lo guiado como dos fases interactivas de la investigación experimental” (p. 65), lo cual nos habla de una complementariedad más que de una lucha por la superposición de una forma de experimentación sobre otra. Esto se da puesto que la experimentación exploratoria contrario a ser un ejercicio carente de creatividad con el instrumento, tiene objetivos y propósitos epistémicos específicos que implican la modificación sistemática de los parámetros del experimento, con el propósito de identificar cuáles influyen en el efecto deseado o son esenciales para el mismo (Steinle, 2002). Esto está presente especialmente en las primeras fases de desarrollo de una ciencia, cuando se está muy lejos de conceptos y principios teóricos bien desarrollados y adecuados, lo que hace que este tipo de investigación sea importante a nivel epistemológico y en la construcción de conocimiento científico escolar.

En este orden de consideraciones, la presente investigación asume como fundamento conceptual la conjunción de la experimentación cualitativa exploratoria, que puede definirse como “aquella que no dispone de un marco conceptual establecido, sino que propicia las condiciones para la creación del conocimiento”, estableciendo un equilibrio entre teoría y práctica (Ruiz Molina et al., 2021, p.1). Este enfoque, aporta a la formación de conceptos por medio de observaciones y exploraciones que claramente pueden derivar en resultados indeterminados, lo cual pone de manifiesto que este tipo de experimentación tiene una connotación más flexible que permite explorar y generar las condiciones socioepistémicas para la construcción del conocimiento científico escolar. Esto hace posible la creación y la utilización de instrumentos, buscando la variación constante de condiciones experimentales para determinar regularidades empíricas (Ruiz Molina et al., 2021).

Adicionalmente, las actividades experimentales cualitativas exploratorias presentan un potencial significativo al posibilitar la creación de dinámicas que van más allá de una visión objetiva y concluyente de la ciencia; esto facilita que la construcción del conocimiento se perciba como un proceso social, dialógico y cultural. De este modo, esta perspectiva experimental tiene un impacto significativo en la enseñanza al ofrecer una oportunidad para fortalecer relaciones dialógicas que fomentan la movilización de consensos y la habilidad de argumentación en los procesos de formación y de enseñanza de las ciencias naturales (Ruiz Molina et al., 2021).

Por otra parte, es importante preguntarse cómo estas nociones de experimento y de experimentación cualitativa exploratoria se llevan a la enseñanza de las ciencias, por lo que vale la pena mencionar que, en contraste con el experimento científico, el trabajo práctico

experimental en este contexto hace referencia a las actividades de enseñanza de las ciencias naturales en las que los estudiantes hacen uso de ciertos procedimientos para reproducir un fenómeno o analizar una parte del objeto de estudio (Leite, 2001 como se citó en García Viviescas y Moreno Sacristán, 2020). Lo anterior implica la inclusión de diversos tipos de actividades que permitan integrar la teoría y la práctica, considerando que la experimentación escolar se realiza con fines didácticos, para fundamentar conocimientos y formar en ciencias naturales (García Viviescas y Moreno Sacristán, 2020).

Del mismo modo, en el contexto de la EC hay una serie de conceptos que es necesario definir tomando como referente a Caamaño (2003 como se citó en García Viviescas y Moreno Sacristán, 2020, p.155):

- **Experiencias:** son actividades prácticas con las que se busca familiarizar de forma perceptiva con los fenómenos naturales.
- **Experimentos ilustrativos:** brindan una aproximación cuantitativa o cualitativa al fenómeno, lo que permite interpretarlo y evidenciar una relación entre variables.
- **Ejercicios prácticos:** son actividades diseñadas para aprender ciertas destrezas o procedimientos o para ilustrar o corroborar una teoría.
- **Investigaciones:** son actividades orientadas al desarrollo de un problema teórico o práctico por medio del diseño y la realización de un experimento, cuyos resultados son evaluados posteriormente.

En relación con lo anterior, es importante mencionar también que la actividad experimental en general tiene suma relevancia en la enseñanza de las ciencias ya que, por un lado, aporta a la formación teórica de los estudiantes y, por otro, permite el desarrollo de habilidades y destrezas, acerca a una visión de ciencias y su construcción (López Rúa y Tamayo Alzate, 2012, p. 46). Además, cuando la actividad experimental no se presenta como un recetario con pasos a seguir, les permite a los estudiantes familiarizarse y comprender algunos fenómenos de las ciencias naturales, a la vez que les posibilita entender cómo se construye el conocimiento en una comunidad científica, cómo trabajan los científicos y las científicas y cómo las ciencias están relacionadas con otras esferas de lo social como la cultura.

Esto propicia la construcción de explicaciones, dando lugar a la movilización de consensos, la validación social de ideas y el reconocimiento de puntos de vista diferentes al propio (Romero Chacón et al., 2016) puesto que, desde esta perspectiva, la experimentación se reconoce y se aborda como un proceso mediado por relaciones dialógicas, en el que la

participación activa de los sujetos es esencial en la construcción de conocimiento (Ruiz Molina et al., 2021).

4.3 Historia y enseñanza de la microbiología y su relación con la experimentación cualitativa exploratoria

Teniendo en cuenta las candidaciones precedentes, desde una perspectiva histórica y epistemológica, el surgimiento de la microbiología como ciencia se ha dado desde la experimentación cualitativa exploratoria, por lo tanto, es importante considerar la inclusión de su historia y de este enfoque de experimentación en su enseñanza. Asimismo, esta enseñanza debe estar mediada por la experimentación, pues esto permite acercarse al conocimiento científico de una forma activa.

Como se mencionó anteriormente, las condiciones socioepistémicas con las cuales está relacionada la experimentación cualitativa exploratoria se conectan con el desarrollo de las ciencias, especialmente durante sus primeras etapas, lo cual, también se ha evidenciado en la historia de la microbiología, que “es una de las ramas de la biología que tiene un carácter experimental por su naturaleza, pues, al tratarse de seres microscópicos, ha requerido de un arduo trabajo mediante el experimento para poder conocer y entender el comportamiento de estos”. (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017, p. 82)

Por ejemplo, el asentamiento de la microbiología como ciencia está estrechamente ligado a una serie de controversias seculares (con sus numerosas relaciones con la filosofía e incluso con la religión de la época), que se prolongaron hasta finales del siglo XIX. La resolución de estas polémicas dependió del desarrollo de una serie de estrategias experimentales fiables (esterilización, cultivos puros, perfeccionamiento de las técnicas microscópicas, etc.), que a su vez dieron nacimiento a un cuerpo coherente de conocimientos que constituyó el núcleo aglutinador de esta área del conocimiento (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017). Además, el desarrollo de la microbiología se dio gracias a los avances científicos del siglo XX que lograron caracterizarla como una ciencia madura, de igual importancia que la física o la química (Diéguez, 2011).

Dentro de esos avances históricos de la microbiología relacionados con la experimentación cualitativa exploratoria, se encuentra el desarrollo del microscopio, que permitió la comprensión de lo micro que habita en lo macro, a través de la apreciación de lo que con los simples ojos no puede verse. Anton van Leeuwenhoek (1632 – 1723) considerado el padre de la microbiología, fue quien descubrió que todo estaba rodeado de diminutas

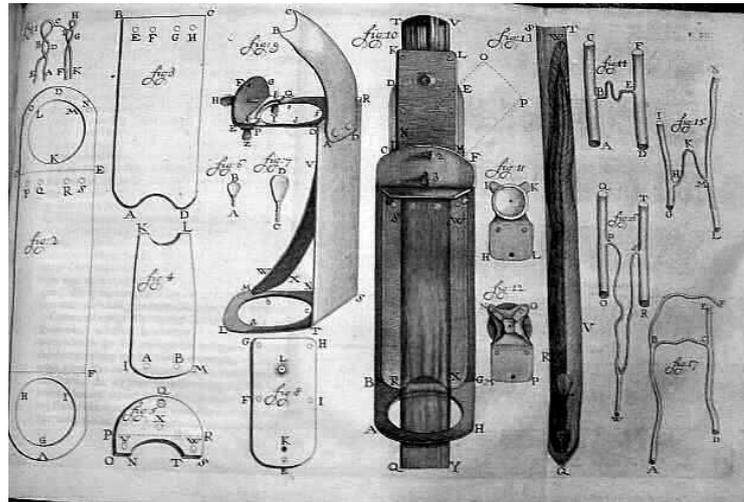
representaciones de vida tan pequeñas que no se podían apreciar a simple vista, gracias al microscopio. Este científico decidió comenzar a construir empíricamente un microscopio a partir de lentes y lupas extremadamente simples, que usaba como comerciante para evaluar la calidad de las telas. Esto llegó a ser todo un éxito, ya que a partir de la fabricación de aproximadamente 250 microscopios abrió la ventana al mundo de lo microscópico (Avendaño et al., 2020). Adicionalmente, es de resaltar que:

Cuando van Leeuwenhoek comenzó a fabricar sus microscopios simples de una sola lente, los microscopios compuestos, de dos lentes, ya tenían décadas de estar funcionando. Además, los microscopios de van Leeuwenhoek mostraron durante cerca de dos siglos, una magnificación sin presentar defectos ópticos, problemas que sí tenían los microscopios compuestos de la época. (Trujillo, 2015 como se citó en Avendaño et al., 2020)

En relación con esto, se hace necesario mencionar que el éxito y el aporte de van Leeuwenhoek no solo radicó en la fabricación de gran número de microscopios, como los que se observan en la figura 1, sino también en la continua comunicación científica con la Royal Society de Londres, lo cual, es un indicio de la importancia de asuntos no epistémicos dentro del desarrollo de la ciencia, como lo es la colaboración científica. De hecho, el 17 de septiembre de 1683 él les envió una carta en la que describió lo jamás visto por alguien más, muchos miembros se negaron a creer en la existencia de los organismos microscópicos, pero Robert Hooke (1635 – 1703), a quien se le atribuye el descubrimiento de la célula, decidió verificar las observaciones de van Leeuwenhoek y pudo confirmar su descubrimiento (Avendaño et al., 2020). Esto reafirmó la existencia de los microorganismos y, permitió empezar a comprender el mundo desde lo microscópico.

Figura 1

Dibujo de los microscopios de van Leeuwenhoek realizado por Henry Baker en 1756



Nota. Adaptado de van Leeuwenhoek [Ilustración], por Henry Baker, Wikipedia

(https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anton_van_Leeuwenhoek&oldid=159733909#Enlaces_externos)

Por otro lado, la historia de la microbiología, como la de cualquier otra ciencia consolidada, abarca dentro de sus prácticas científicas aspectos tanto epistémicos como no epistémicos. Estos últimos referidos a factores afectivos, contextuales, éticos, políticos y culturales, es decir, la naturaleza sociológica de las prácticas científicas (García-Carmona, 2021). Dentro de estas prácticas no epistémicas se encuentra una en particular asociada a la cooperación y colaboración científica, pues como lo señala García-Carmona (2021), el progreso de la ciencia es posible debido al trabajo conjunto de personas y de redes científicas, por lo que es poco usual encontrar descubrimientos científicos que puedan ser atribuidos un único científico. De hecho, esto no solo se evidenció en la relación entre van Leeuwenhoek y la Royal Society de Londres, sino también en el trabajo realizado por Louis Pasteur (1822 – 1895) sobre las fermentaciones (alcohólica, láctica y del ácido tartárico), pues a partir del contacto con los industriales de su región y su ejercicio como docente pudo demostrar que la fermentación alcohólica, o sea, el desdoblamiento del azúcar en alcohol y anhídrido carbónico, se daba gracias a la acción de un microorganismo viviente (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017).

Además del reconocimiento del origen microbiano de las fermentaciones, otro de los hechos históricos relacionados con el desarrollo de la microbiología donde se puede evidenciar

la experimentación cualitativa exploratoria, fue el abandono definitivo de la idea de generación y en contraposición, a esta, la consolidación de la biogénesis y la teoría germinal de la enfermedad, pues esto marcó logros fundamentales que consolidaron la microbiología como ciencia (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017). La fermentación, inicialmente asociada a cambios espontáneos en soluciones orgánicas que resultan en la producción de sustancias alcohólicas o ácidas, fue estudiada por alquimistas como Thénard y Dumas, quienes propusieron una fórmula que sugirió haber descubierto la naturaleza del fenómeno, pero Lavoisier en 1789 con estudios posteriores, intentó explicar el proceso únicamente desde la química.

No obstante, para 1857 Pasteur ya había desarrollado completamente la teoría del germen y propuesto la metodología experimental que la respaldaba. Al explicar fenómenos antes considerados puramente químicos desde una perspectiva biológica, Pasteur contribuyó significativamente al campo de la microbiología, y entre sus trabajos más destacados en la teoría microbiana se encuentra la investigación sobre la conversión de azúcar en ácido láctico, un proceso responsable de la acidez en la leche. Pero, lo crucial en sus investigaciones sobre la fermentación del alcohol es la importancia de los microorganismos en este proceso, y el papel que le dio a la necesidad de desinfección mediante el calor y la prevención de la contaminación en sus experimentos (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017), proceso conocido como pasteurización

Adicionalmente, se puede mencionar que el impacto de los instrumentos en la construcción de explicaciones científicas es una de las lecciones que brinda la HFC y que se considera de imprescindible inclusión en la enseñanza. De hecho, Izquierdo et al. (2004) mencionan sobre los instrumentos que “en la historia de la ciencia podemos ‘ver’ cuándo y por qué se inventaron, cómo se utilizaron y cómo se perfeccionaron; y los conceptos abstractos que surgieron debido a ellos y a los ‘números’ (magnitudes) que proporcionaron”. Esto se evidencia por ejemplo en la experimentación cualitativa exploratoria que hizo Pasteur al idear diversos experimentos con diferentes sustancias o materias primas, y diseñar elementos materiales e instrumentales para realizar sus estudios (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017, p. 87).

Dentro de todos los aportes que realizó Pasteur a la ciencia y a la sociedad, este proyecto se centra en sus investigaciones sobre la microbiología, en particular la comprensión de las enfermedades infecciosas y su relación con los microorganismos, lo cual, no hubiera sido posible sin la experimentación, ya que él “insertó en el laboratorio las preocupaciones de su tiempo” (Latour, 1995 b, p. 140), y dio respuesta a cuestionamientos que no solo preocupaban a los científicos, sino también a otros colectivos sociales importantes como los médicos, los

higienistas y los políticos. Junto con científicos como Robert Koch (1843 – 1910), Pasteur cambió de cierta manera el concepto de enfermedad infecciosa, pues encontró el medio para comprender cómo la virulencia de los microorganismos puede variar en función de las condiciones del medio, o lo que en su época se conocía como terreno, pues así el cultivo de microorganismos en el laboratorio cuerpo pasó a ser en sus manos una extensión de lo que puede observarse en el entorno.

A partir del análisis de las contribuciones realizadas por Pasteur y Koch, es posible establecer nexos con asuntos asociados a la NOS, en particular, aquellos relacionados con el papel de la experimentación de tipo cualitativo para la comprensión del origen de las enfermedades infecciosas, y el contexto histórico, social y cultural en el que tiene lugar. Asimismo, se destaca el papel de ciertos instrumentos como la caja de Petri y el agar-agar y los científicos que los desarrollaron como Petri y el señor y la señora Hesse, ya que fueron claves en los experimentos que permitieron a la microbiología constituirse como ciencia y aportar a la comprensión de la realidad macro y microscópica.

Desde tiempos antiguos, el estudio y cultivo de bacterias ha sido un área de investigación primordial, incluso, antes de reconocerlas como microorganismos, pues sus efectos a nivel macro como la fermentación o las enfermedades siempre han sido latentes. Esto requería contar con un recipiente adecuado donde se tuvieran los medios necesarios para cultivar los microorganismos, lo cual, impulsó al bacteriólogo alemán Julius Richard Petri (1852 – 1921) a resolver este problema. En 1877, anunció con gran entusiasmo haber creado el primer recipiente diseñado específicamente para el cultivo bacteriano (figura 2); este recipiente, inicialmente hecho de vidrio, se convirtió en un instrumento crucial que potenció el desarrollo de la microbiología como ciencia, pues se utilizó en varios experimentos importantes, entre esos, aquellos que permitieron estudiar las enfermedades infecciosas (Avendaño et al., 2020).

La introducción de la placa de Petri supuso un hito significativo en el cultivo de microorganismos, revolucionando el estudio de sus características y el patrón de su crecimiento. Antes de la invención de Petri, los microorganismos se cultivaban en un caldo líquido que solía contaminarse fácilmente, requiriendo su descarte. En el cultivo en medio sólido, se empleaba agar o gelatina fundida en un extremo de un tubo de ensayo, un proceso laborioso que no permitía la separación de colonias y dificultaba la observación a través del cristal. Además, se utilizaban placas de vidrio plano para cultivar colonias de bacterias en gelatina, las cuales eran cubiertas con una campana y sometidas a una temperatura específica (Avendaño et al., 2020).

Por otro lado, en 1882 Koch sorprendió al mundo al ser el primero en aislar microorganismos y descubrir el bacilo responsable de la tuberculosis. Junto con su equipo de

investigación, desarrolló las primeras técnicas de cultivo bacteriano, destacándose por utilizar agar en lugar de gelatina para solidificar los medios de cultivo; también fue pionero en cultivar bacterias en la caja de Petri, lo que le permitió obtener los primeros cultivos puros de bacterias. Adicionalmente, contribuyó al desarrollo de técnicas de preparación y tinción de bacterias, siendo el primero en utilizar el microscopio de inmersión y capturar la primera fotografía de bacterias jamás publicada. Sin embargo, su renombre a nivel mundial se consolidó con el descubrimiento del agente causante de la tuberculosis, que le llevó a formular su famoso postulado, que establece que "organismos específicos causan enfermedades específicas" (Parra, 2013 como se citó en Avendaño et al., 2020), lo cual, ha permitido el desarrollo de tratamientos.

Figura 2

Ilustración cambios en la Caja de Petri a través del tiempo



Nota. Adaptado de "The 'Petri Dish': A Case of Simultaneous Invention in Bacteriology" (p. 12), por G. Shama, 2019, *Endeavour*, 43 (1-2)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016093271830111X>

Un colaborador importante de Koch, que le ayudó con instrumentos para el análisis de la *Mycobacterium tuberculosis*, fue Walther Hesse (1846 – 1911) quien junto con su esposa Fanny Hesse (1850 – 1934), incluyó el uso del agar-agar en la microbiología. Walther Hesse como microbiólogo hizo aportes a los métodos de análisis bacteriológico cuantitativo del agua y describió varias innovaciones técnicas, entre otras, una técnica de cultivo de anaerobios. Además, los brotes de enfermedades contagiosas, como la difteria, la fiebre tifoidea, la disentería bacilar y el cólera, le obligaron a estudiar las enfermedades en su laboratorio; proceso en el cual fue clave su esposa Fanny Hesse que hacía todas las ilustraciones científicas de sus trabajos y trabajaba como técnica en el laboratorio de Koch.

Esta pareja de microbiólogos notó que en verano las temperaturas provocaban la licuefacción de la gelatina, el medio de cultivo sólido utilizado para recubrir los tubos de vidrio empleados en los estudios, y que las bacterias que licuaban la gelatina destruían a menudo los

cultivos. Un día, Walther le preguntó a Fanny por qué sus pudines permanecían sólidos a esas temperaturas y ella le habló del agar-agar, conocido como gelificante en climas cálidos. La inclusión de este ingrediente, usado antes tan solo en la cocina, contribuyó al éxito de Walther con sus estudios sobre el aire, y fue una aportación esencial al desarrollo de la bacteriología moderna. La estabilidad térmica del agar, su resistencia a las enzimas microbianas y la posibilidad de esterilizar el medio y almacenarlo durante mucho tiempo, permitieron realizar cultivos a largo plazo, especialmente importantes en la investigación y el diagnóstico de la tuberculosis, debido a que los Hesse informaron de este hallazgo a Koch, quien inmediatamente incluyó el nuevo medio en sus estudios sobre el bacilo de la tuberculosis. Aunque Koch mencionó el agar-agar en una breve frase de su nota preliminar de 1882 sobre el bacilo tuberculoso, lo hizo sin citar la fuente, por lo que los Hesse nunca recibieron ninguna recompensa económica por su "invención", ni se plantearon explotar el asunto comercialmente (Hesse y Gröschel, 1992).

Retomando el tema de las enfermedades infecciosas, es preciso decir que a finales del siglo XIX no se sospechaba que estas dependieran de la acción de los "microbios", pues se pensaba que dichas enfermedades venían del interior del cuerpo y que, si provenían del exterior, era a causa de ciertos focos miasmáticos circunscritos. Esto influyó notablemente en la medicina, pues a pesar de los descubrimientos de Ignaz Semmelweiss (1818-1865), que apuntaban a que las causas de la septicemia en los hospitales estaban en las manos de los mismos médicos, ellos no lo aceptaban. Por otro lado, a pesar de que la teoría de los gérmenes era aceptada por ciertos científicos, y que los estudios de Koch asociaban microbios y enfermedades (relación de bacilos con la cólera), para muchos las enfermedades estaban relacionadas más con la pobreza que con la presencia de los microorganismos, lo cual, se constituye en un asunto no epistémico relacionado con la historia de la microbiología (Latour, 1995 b).

Debido a estas circunstancias mencionadas, el trabajo de Pasteur cobró relevancia, ya que, para convencer de sus planteamientos a médicos, higienistas, administradores y políticos, fue necesario que él transportara al "microcosmos del laboratorio el macrocosmos de la sociedad entera" (Latour, 1995 a, p.144) y que innovara no solo en la acción de los microbios y en la de los encargados de demostrar su actividad, sino también en la forma de conseguir recursos para sus investigaciones. En principio, Pasteur (figura 3) logró demostrar la variación de la virulencia, mostrando que los gérmenes cambiaban de acuerdo con el terreno en el que se encontraban, y cambiando incluso la noción de terreno, ya que este no fue concebido para él como una causa misteriosa propia del organismo o de un foco infeccioso, sino como un alimento

o medio ambiente del germen, la condición de aprovisionamiento de un microbio que busca simplemente reproducirse, que es lo que se conoce en microbiología como medio de cultivo.

Figura 3

Retrato de Louis Pasteur en su laboratorio usando un microscopio



Nota. Adaptado de *Louis Pasteur in his laboratory, looking through a microscope*, Adrien Emmanuel, M, 1885, <https://wellcomecollection.org/works/dpa3xkqp>. CC 4.0

Sumado a esto, tanto Pasteur como Koch lograron demostrar la acción de los microbios como causa de las enfermedades a partir de la técnica de la dilución (diluciones seriadas), introduciendo en cincuenta centímetros cúbicos de orina estéril una gota de sangre de un animal muerto de carbunco, y haciendo que el bacilo se reprodujera a placer, para después diluir esto en otros caldos de cultivo e inocularlo en animales para demostrar su virulencia. Estos experimentos con los medios de cultivo también fueron haciendo más evidente la aparición y la desaparición de las epidemias. Incluso, esto permitió demostrar que era posible hospedar un microbio mortal sin sufrir en lo absoluto por ello, lo cual, le dio sentido desde la teoría de los gérmenes a la práctica científica empírica realizada cien años antes por Edward Jenner (1749 – 1823) al inocular seres humanos con la viruela de vacas para inmunizarlos (Latour b, 1995).

Así pues, se puede evidenciar que las técnicas y los instrumentos empleados por Pasteur, y las variaciones que hizo en los experimentos para llegar a regularidades y perspectivas teóricas, están asociadas con la experimentación cualitativa exploratoria, y ponen en evidencia la importancia del experimento en el desarrollo de la microbiología. En síntesis, se puede decir

que Pasteur no solo demostró la relación entre microbios y enfermedades, sino que también logró demostrar la existencia de un ser vivo específico, el microorganismo, conocido como microbio o germen, cuyo desarrollo cambia en función del terreno o medio de cultivo, que varía su virulencia pasando de una especie a otra, que se puede cultivar fuera del organismo incluso sin verlo, y que se puede atenuar a través de diversas manipulaciones para suscitar una inmunidad mediante la vacunación preventiva (Latour, 1995 a).

Lo mencionado anteriormente puede incluirse en la enseñanza de la microbiología, considerando que la realización de experimentos cualitativos exploratorios da la posibilidad de trascender la deducción y la corroboración y generar espacios para la creación, la reflexión, la exploración y la argumentación (García, 2011 como se citó en Ruiz Molina et al., 2021). Además, acercando a los estudiantes, a partir de la recontextualización de hechos históricos, a una ciencia humana, que cambia y avanza gracias a la experimentación, y que a su vez está permeada por cuestiones sociales, políticas y económicas.

No obstante, a pesar de la relevancia que tiene la experimentación cualitativa exploratoria, esta no se evidencia siempre en la enseñanza y el aprendizaje de la microbiología, pues algunas investigaciones sobre este tema demuestran que hay poca comprensión sobre esta ciencia y se evidencian dificultades de aprendizaje, enmarcadas en la noción errada de lo que está vivo, en el acercamiento al mundo microscópico, y en la imposibilidad de atribuirle a los microorganismos un papel relevante en la transformación de los alimentos (Morcillo Molina, 2015). Esto se pone en evidencia, en particular, en relación con el “caso microbiano” que hace referencia a que, teniendo en cuenta que los microorganismos son seres imposibles de observar a simple vista, se generan concepciones predominantes en los estudiantes acerca de lo vivo y lo no vivo (Pulido, 2006 como se citó en García Arteaga y Morcillo Molina, 2017).

Como se mencionó inicialmente, la enseñanza de la microbiología desde el enfoque didáctico basado en prácticas científicas, e incluyendo la experimentación cualitativa exploratoria, puede ser una alternativa para superar las dificultades en el proceso de aprendizaje de los fenómenos asociados con los microorganismos; esto debido a que con este tipo de experimentación se busca superar la concepción de la ciencia y la actividad científica heredada del enfoque positivista, puesto que la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias no puede tratarse de manera aislada y separada de la actividad de construcción conceptual (García Arteaga y Morcillo Molina, 2017). De esta manera, y con un equilibrio entre teoría y práctica, los estudiantes pueden alcanzar una mejor comprensión del mundo microscópico que les permita poner sus aprendizajes en contextos reales y situaciones cotidianas.

Para lograr lo anterior, es necesario proponer experimentos con una riqueza conceptual propia, que permitan comprender que detrás de cada actividad experimental se encuentra un valioso conocimiento. Asimismo, es esencial considerar que las problemáticas, la vida cotidiana y los fenómenos naturales son parte integral de este proceso, reconociendo que el desarrollo de un resultado experimental está influenciado por los instrumentos, los artefactos y el conocimiento conceptual; en otras palabras, está conectado con los elementos que forman parte de la dinámica de la experimentación, como un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico (Pickering, 1995 citado García Arteaga y Morcillo Molina, 2017).

4.4 Semilleros escolares de investigación en ciencias para el desarrollo de competencias para el siglo XXI

En el ámbito escolar, la ciencia debe propiciar la participación activa de los estudiantes en los asuntos del mundo. Además, debe fomentar un entorno diverso y enriquecedor que facilite el diálogo, el debate, el cuestionamiento y las posibilidades de cambio y reestructuración de ideas, así como la generación de nuevas perspectivas (Ravanal et al., 2009 como se citó en Álvarez Lires et al., 2013). Por esto, enseñar ciencias en la escuela implica abandonar la idea de centrarse en "temas" y, en su lugar, estudiar fenómenos concretos que permitan diversas interpretaciones, planteando preguntas y buscando nuevos datos; organizar las clases alrededor de contextos compartidos para construir conocimientos de manera colaborativa, comprender fenómenos y determinar acciones para desarrollar modelos de interpretación cada vez más complejos (Pujol, 2008 como se citó en Álvarez Lires et al., 2013), lo cual está estrechamente relacionado con el desarrollo de competencias y con aquellos espacios fuera del aula regular que permiten la enseñanza de las ciencias.

Hoy en día la educación en ciencias no se limita a la escuela, puesto que hay múltiples espacios educativos escolares y no escolares donde se dan procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, divulgación científica y apropiación social del conocimiento. Unos de estos espacios son los semilleros escolares de investigación, que se pueden crear partiendo de planteamientos de proyectos o como estrategia didáctica, que les permita a los estudiantes aproximarse al estudio de distintas disciplinas de una forma más cercana a sus intereses y realidad, comprender cómo se ha cimentado el conocimiento científico y cómo trabajan las comunidades científicas para construir conocimiento en colectividad.

Galindo Suárez (2022), estableciendo una relación metafórica con la palabra semillero, expresa que estos espacios formativos se pueden entender como:

Un escenario de “preparación” de semillas (estudiantes) que al recibir todos nutrientes (enseñanzas, apoyo pedagógico), realizar su proceso autótrofo (aprendizaje) y recibir los cuidados necesarios (protección y guía docente); crecerá, se trasplantará (se desenvolverá en su territorio) y en un futuro dará buenos frutos. (p. 42)

En concordancia con esto, la noción de semillero que se retoma en este proyecto es la de Molineros Gallón (2009), quien define los semilleros de investigación como comunidades de aprendizaje y enseñanza de estudiantes, docentes y líderes institucionales; caracterizadas por su origen espontáneo, naturaleza autónoma y dinámica diversa; donde se da una educación participativa que privilegia la pregunta, permite aprender a aprehender, fortalece la capacidad de trabajar en equipo, y fomenta una cultura interdisciplinaria que mantiene despierta la capacidad de asombro y la curiosidad frente al entramado de la vida.

Del mismo modo, los semilleros de investigación permiten:

Afianzar la consolidación de una cultura reflexiva, crítica y autónoma de las complejidades a las que se enfrenta la ciencia cuando en ésta se presenta algún fenómeno de la realidad circundante, la cual es necesario abordar mediante el planteamiento de esquemas conceptuales y la implementación de estrategias tecnológicas de enfoque multidisciplinario. (Molineros Gallón, 2009, p. 121)

Debido a lo anterior, los semilleros de investigación se establecen como ambientes de aprendizaje para niños y adolescentes, donde se fomentan habilidades científicas como la autonomía, la creatividad y la toma de decisiones. Estas competencias se desarrollan mediante la exploración libre de diversos fenómenos, con la orientación de un docente-investigador que facilita y estimula los procesos, fomentando la asunción de distintos roles dentro de estos entornos educativos (Arango Benítez, 2020).

Adicionalmente, Palacio (2011 como se citó en Arango Benítez, 2020) argumenta que los semilleros de investigación se fundamentan en los siguientes principios: Mantener independencia, pues cada miembro contribuye de manera autónoma a los objetivos del semillero, utilizando sus capacidades y habilidades particulares; fomentar la interacción, ya que se promueve un constante intercambio verbal dentro del grupo, fortaleciendo sus objetivos y propiciando el crecimiento como una comunidad de aprendizaje; permitir contribuciones individuales y desarrollar habilidades tanto a nivel individual como grupal. Estos principios de los semilleros se asumen en este proyecto en la medida en que los estudiantes participantes del lo hacen de forma voluntaria y cada uno contribuye desde sus conocimientos, habilidades y deseos a la construcción de conocimiento mediante el trabajo colaborativo.

Debido a la naturaleza de los semilleros escolares de investigación como espacios donde se propicia el aprendizaje colaborativo y se fortalecen no solo habilidades, saberes y conocimientos a nivel científico e investigativo, sino también a nivel humano y personal, es posible pensar en el potencial que tienen para desarrollar competencias necesarias para hacerle frente a los desafíos y retos del siglo XXI. El desarrollo de estas competencias implica reformular las aspiraciones en materia de aprendizaje para acercarlas a lo que se necesita en esta época. Del mismo modo, esto involucra cambios en la forma de enseñanza y aprendizaje tanto en espacios educativos escolares como extracurriculares y no escolares.

La adquisición de una formación básica en ciencias es esencial para que el individuo pueda comprender su entorno y participar activamente en las decisiones sociales, ya que la enseñanza de las ciencias desempeña un papel fundamental en la construcción de la ciudadanía. En la escuela, se busca desarrollar competencias que establezcan una forma coherente de relación con las ciencias y el mundo a través de estas, alineadas con la noción contemporánea de ciudadanía en el mundo actual (Hernández, 2005, p.2 como se citó en Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013). Esto cobra aún más relevancia considerando que el sistema educativo colombiano adopta competencias comunicativas, argumentativas, interpretativas y propositivas que resumen un conjunto integral de conocimientos, destrezas y habilidades que los estudiantes deben poseer (Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013).

De este modo, la formación científica básica resulta imperativa para cultivar competencias que capaciten a los individuos a comprender su entorno y abordar los desafíos que puedan surgir. En este contexto, no se puede descuidar el cultivo de competencias asociadas al potencial formativo de las ciencias, que incluyen la capacidad crítica, reflexiva y analítica, así como el dominio de conocimientos técnicos y habilidades, junto con una apreciación del trabajo y la capacidad para crear e investigar (Hernández, 2005 como se citó en Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013). Sin embargo, el desarrollo de estas competencias no se debe reducir a la enseñanza en el aula, pues hay otros espacios educativos, algunos extracurriculares por ejemplo, que permiten aprender ciencias y desarrollar competencias de diversa índole.

La definición de competencias implica una discusión diversa entre diferentes autores, ya que es un término polisémico y complejo y, aunque no hay una concepción específica dentro del campo de la enseñanza de las ciencias naturales, las competencias se perciben como conocimientos y habilidades que permiten la participación efectiva en contextos sociales (Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013).

En relación con lo anterior, la noción de competencia que se asume en el proyecto es la propuesta por la Fundación Omar Dengo (2014), que la define como aquel conjunto de

destrezas, conocimientos y actitudes que se requieren para enfrentar de forma exitosa los retos de la época; esto implica la reformulación de las aspiraciones de aprendizaje para hacerlos más relevantes en el mundo actual. Del mismo modo, estas competencias están relacionadas con mayores habilidades analíticas y comunicativas, capacidad para resolver problemas, creatividad e iniciativa, y capacidad para colaborar de manera constructiva y efectiva con otros, con el fin de llegar a ser personas saludables, felices y con capacidad para contribuir al bien común.

Las competencias del siglo XXI propuestas por el proyecto ATC21s de la Fundación Omar Dengo (2014) se dividen en cuatro categorías que son: maneras de pensar, maneras de vivir en el mundo, herramientas para trabajar, y maneras de trabajar. En este proyecto se retoman puntualmente las categorías de: maneras de trabajar y maneras de vivir en el mundo, y dentro de ellas se focaliza la propuesta en las habilidades de colaboración o el trabajo colaborativo y la responsabilidad personal y social, respectivamente.

Debido a que los semilleros escolares de investigación en ciencias se realizan por lo general bajo metodologías activas de aprendizaje como el trabajo colaborativo, una de las competencias que se pueden desarrollar allí es la colaboración, entendida como la “capacidad de trabajar de forma efectiva con otras personas para alcanzar un objetivo común, articulando los esfuerzos propios con los de los demás” (Fundación Omar Dengo, 2014, p.12). Esto está en concordancia con lo que plantea Adúriz-Bravo (2005) acerca de una ciencia escolar verdaderamente rica que considere y propicie la interacción social del estudiante con sus compañeros, con el profesor y con los materiales usados en la clase de ciencias naturales, considerando que las relaciones entre los y las científicas en las comunidades son vitales para el avance de la ciencia.

A su vez, la competencia de trabajo colaborativo está relacionada directamente con reflexiones acerca de la NOS, puesto que, desde este enfoque, el avance en la ciencia se logra gracias a la colaboración coordinada de muchas personas que trabajan de manera conjunta, cooperativa y colaborativa en equipos, comunidades y redes científicas. Dado que la ciencia emerge como un resultado de un proceso colectivo, la educación científica, tanto en ambientes escolares como no escolares, debe fomentar que los estudiantes se organicen en equipos durante los procesos de aprendizaje para colaborar de manera efectiva (García-Carmona, 2021). Esta perspectiva se alinea con la noción según la cual:

El aprendizaje más efectivo es el que construimos a partir de situaciones que requieren que hagamos cosas en colaboración con otros. Aprender con otras personas y de otras personas, haciendo cosas en conjunto o entrando en conversación con ellas, se convierte

en una característica esencial del aprendizaje de las competencias del siglo XXI. (Fundación Omar Dengo, 2014, p. 20)

Adicionalmente, los semilleros aportan al desarrollo del pensamiento crítico mediante la potencialización de competencias investigativas y científicas, por lo cual, pueden aportar a la responsabilidad personal y social, concebida como la “capacidad de tomar decisiones y actuar considerando aquello que favorece el bienestar propio, de otros y del planeta, comprendiendo la profunda conexión que existe entre todos ellos” (Fundación Omar Dengo, 2014, p. 12). Esta competencia se puede relacionar con una imagen de ciencia dinámica, “de todos y todas”, en la que todos, los y las ciudadanas, pueden y deben tomar decisiones responsables en materia de cuestiones científicas, tecnológicas y sociales (Adúriz-Bravo, 2005).

Finalmente, en los semilleros escolares en ciencias los estudiantes asumen roles activos, contribuyen con sus capacidades individuales y colaboran en la consecución de objetivos comunes. Esta experiencia les brinda la oportunidad de tomar decisiones de manera autónoma, gestionar su tiempo de manera efectiva, y comprometerse con el proceso de aprendizaje. Además, al trabajar en equipo, los participantes adquieren una mayor conciencia de la importancia de la colaboración y la comunicación efectiva. La responsabilidad personal se fomenta a medida que los estudiantes se hacen cargo de sus contribuciones al proyecto, mientras que la responsabilidad social se fortalece al comprender el impacto positivo que su participación puede tener en la comunidad escolar.

En última instancia, los semilleros escolares en ciencias ofrecen un entorno enriquecedor que va más allá de la adquisición de conocimientos científicos, cultivando habilidades y actitudes fundamentales para la vida personal y social de los participantes. Sin embargo, la bibliografía en torno a los semilleros escolares en ciencias es limitada, ya que muchos de los estudios se enfocan en la educación a nivel universitario o a otro tipo de actividades extracurriculares en el ámbito escolar, lo cual se constituye entonces en un objeto de reflexión importante en este proyecto de investigación.

5. Marco metodológico

5.1 Paradigma y enfoque

El presente proyecto de investigación fue realizado desde un paradigma cualitativo con enfoque interpretativo, considerando que la búsqueda de conocimiento cualitativa parte de la examinación de los hechos en sí y en el proceso se desarrolla una teoría coherente para representar y explicar lo que se observa. Es así como las investigaciones de corte cualitativo se basan en una lógica y proceso inductivo, en el que se parte de lo particular a lo general y se hace uso de la exploración, la descripción y la posterior generación de perspectivas teóricas (Hernández Sampieri et al., 2014).

Sumado a lo anterior, los estudios cualitativos tienen la posibilidad de desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después del registro y el análisis de los datos, puesto que desde este paradigma se pretende principalmente la “dispersión o expansión” de los datos y la información. En el proceso de registro de datos, que no son ni estandarizados ni predeterminados, se obtienen las perspectivas y los puntos de vista de los participantes como emociones, prioridades, experiencias y significados, así como las interacciones entre individuos, grupos y colectividades (Hernández Sampieri et al., 2014). Debido a lo anterior, en los estudios cualitativos las preguntas de investigación están dirigidas a casos o fenómenos y buscan modelos de relaciones inesperadas o previstas (Stake, 1999).

Por otro lado, la investigación cualitativa-interpretativa se caracteriza por el énfasis que hace en la aplicación de las técnicas de descripción, clasificación y explicación (Cerdeña, 1993), por lo que uno de sus elementos centrales es la interpretación, gracias a la cual los resultados de la investigación no son “descubrimientos” o “asertos”, si no producto de la visión personal del investigador, después de pasar por una intensa interacción con el objeto de estudio y por una aproximación constructivista en la construcción del conocimiento (Stake, 1999).

En este proyecto se empleó como método de investigación el estudio de caso, con el que se buscó abarcar la complejidad de un caso particular, entendiéndolo como algo específico, complejo, que tiene interés especial en sí mismo y está en funcionamiento. Por eso, desde esta perspectiva se busca el detalle de la interacción en su contexto y el objetivo primordial es la comprensión del caso basado en relaciones (Stake, 1999). En síntesis, “el estudio de caso es el estudio de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (Stake, 1999, p.11).

Desde esta perspectiva, el autor clasifica los estudios de caso en tres tipos: colectivo, instrumental e intrínseco. El estudio de caso de tipo intrínseco es aquel en el cual el caso está preseleccionado y se deja de lado la búsqueda de una solución a un problema general para dedicar, en cambio, interés exclusivo al caso en concreto (Stake, 1999). La presente investigación está enmarcada dentro de esta tipología, ya que el interés es alcanzar una mayor comprensión del caso en particular y no se da lugar a generalizaciones.

Si bien Stake no establece de forma explícita una ruta de intervención, Montero y León (2002) proponen cinco etapas para la comprensión del caso de la siguiente manera: selección y definición del caso, elaboración de preguntas, localización de las fuentes de datos, análisis e interpretación, y elaboración del informe. A continuación, se explica la forma en la que se realizaron cada una de estas etapas con relación al presente proyecto de investigación.

- **Selección y definición del caso:** partiendo de las observaciones realizadas y las experiencias durante la Práctica Pedagógica realizada en el Colegio San Ignacio de Loyola, la selección del caso de estudio obedeció a características como la posibilidad de desarrollar un semillero escolar como espacio voluntario para sus participantes, la temática de la microbiología como disciplina poco presente en el currículo escolar, y un abordaje por competencias poco desarrollado desde los demás semilleros escolares de la institución educativa.
- **Elaboración de preguntas:** a partir de dichas observaciones, experiencias y problemas identificados, surgieron diversas inquietudes que permitieron dar ruta al desarrollo del semillero escolar, tales como: ¿Cuáles son las competencias para el siglo XXI más adecuadas para desarrollar en un semillero? ¿Qué actividades desde la experimentación cualitativa exploratoria es necesario realizar en el semillero para desarrollar dichas competencias? ¿Cómo puede aportar la microbiología al desarrollo de competencias? Estas preguntas guardan coherencia con la pregunta de investigación, la cual es directriz de los objetivos del proyecto.
- **Localización de las fuentes de datos:** se estructuró el semillero teniendo en cuenta estrategias que permitieran potenciar el desarrollo de competencias en los participantes a quienes estuvo dirigido. Se definieron también los métodos de registro de información que permitieran la comprensión del caso en sí mismo y se idearon las secuencias didácticas para abordar durante las sesiones del semillero.

- **Análisis e interpretación:** para este ejercicio se realizó un análisis categorial, para ello, fueron construidas unas categorías apriorísticas y se utilizaron como estrategias para analizar la información la matriz de análisis y el análisis del contenido.
- **Elaboración del informe:** el presente trabajo escrito constituyó la última fase de este estudio de caso, en el cual se condensa la explicación y el análisis profundo del caso con su respectiva evidencia.

5.2 El caso y su contexto

La presente investigación se realizó en el Colegio San Ignacio de Loyola, ubicado en la comuna 11 de Medellín, Colombia. Es una institución educativa de carácter privado y religioso fundada en el año 1885, con el objetivo de formar de manera integral al estudiantado en las diversas dimensiones de la persona. El Colegio San Ignacio cuenta con cinco grupos por cada grado y cada salón cuenta con, aproximadamente, treinta estudiantes. Su misión es la de acompañar la formación integral de seres humanos conscientes, competentes, compasivos y comprometidos, capaces de asumir los desafíos del siglo XXI en pro de la transformación social (Colegio San Ignacio, 2020).

El caso en concreto que aborda la presente investigación es la manera en la que los participantes, pertenecientes al semillero escolar, desarrollan habilidades para el siglo XXI como lo son la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo, por medio de la experimentación cualitativa exploratoria en microbiología. Fueron entonces los participantes del semillero y su posibilidad de desarrollar competencias, quienes tuvieron un papel central en la investigación, esto se relaciona con la misión del colegio en cuanto a la importancia que se le da al desarrollo de competencias para el siglo XXI.

El caso estuvo conformado por siete estudiantes de los diferentes grupos del grado sexto, los cuales se unieron al semillero de manera voluntaria de acuerdo con su gusto e interés por la ciencia, en particular por la microbiología. Estos participantes fueron seis niños y una niña, con edades entre los once y los doce años. El análisis se realizó tomando como caso a la totalidad de participantes, los cuales, según Stake (1999) constituyen una muestra significativa y ayudan a comprender el caso ya que son variados y no hay tanta preocupación por la tipicidad. Del mismo modo, es posible plantear que estos participantes constituyeron una muestra no probabilística, pues su elección dependió de causas relacionadas con las características y los propósitos de la investigación, más no de la probabilidad (Hernández Sampieri et al., 2014).

5.3 Técnicas para el registro de la información

Como es propio de una investigación de este tipo, fue necesario tener en cuenta diferentes y diversas fuentes para el registro de la información. Es por ello por lo que se utilizaron como técnicas para el registro de la información el cuestionario KPSI, los grupos focales, las entrevistas y las producciones escritas y audiovisuales de los participantes. A continuación, se describe cada una de ellas.

El Cuestionario KPSI (Knowledge and Prior Study Inventory) fue creado por Tamir y Lunetta en 1978, con el fin de que los participantes pudieran realizar una autoevaluación de sus conocimientos y estudios previos a cerca de un tema o disciplina a estudiar, permitiéndole al docente registrar información respecto a lo que el estudiante piensa, sabe o desconoce y, a su vez, permitiéndole al estudiante reflexionar sobre sus conocimientos (Gonzaga Martínez del Campo, 2016).

En el caso de la presente investigación, el cuestionario KPSI (anexo 1) estuvo compuesto por diez enunciados propuestos a partir de las categorías e indicios construidos, y funcionó como una evaluación diagnóstica para conocer los saberes previos de los participantes, además de como punto de partida para abordar los conceptos, los referentes temáticos y las competencias en el semillero. Asimismo, el cuestionario se aplicó al finalizar el semillero para contrastar las respuestas y poder evaluar los conocimientos construidos durante todas las sesiones, lo que permitió a los participantes autoevaluarse antes y después del semillero y reconocer lo aprendido. El cuestionario y sus respuestas fueron transcritos utilizando Google Forms para facilitar su análisis y apoyarlo en datos estadísticos.

Por su parte, la entrevista como técnica de registro de la información se usó para conocer a profundidad el discurso, los sentires, los pensamientos y las experiencias de los participantes del semillero escolar de investigación. La entrevista se hizo necesaria como el cauce principal para llegar a las realidades múltiples de los participantes, puesto que puede suministrar observaciones que los investigadores no pueden hacer por sí mismos (Stake, 1999). Asimismo, la entrevista desde la perspectiva del paradigma cualitativo establece el fluir natural, espontáneo y profundo de las vivencias y recuerdos de una persona, mediante la presencia y el estímulo del investigador que logra captar la riqueza de sus diversos significados (Fernández Carballo, 2001). Esto es de gran utilidad en un estudio de caso intrínseco donde se pretenden comprender las particularidades de un caso concreto.

Es importante mencionar que la entrevista en este proyecto fue semiestructurada, ya que se fueron incluidas preguntas adicionales según el flujo de la conversación y la experiencia de

cada estudiante. Para esto y retomando a Sandoval Casilimas (2002), se comienza con una pregunta generadora y amplia que busca no sesgar un primer relato, y que sirve de base para la profundización ulterior. Se considera entonces que la estructura con la que el entrevistado presenta su relato es portadora de significados y que sus palabras pueden ser punto de partida para preguntas posteriores.

Por otro lado, el grupo focal fue la técnica que posibilitó el dialogo de saberes entre los participantes del semillero. Según Silveira Donaduzzi et al. (2015), el grupo focal es un proceso dinámico, el cual facilita el intercambio de ideas y opiniones, las cuales pueden ser complementadas, confirmadas o contestadas por otros participantes. Durante la presente investigación se realizaron dos grupos focales, cada uno durante una de las secuencias didácticas, los cuales abordaron cinco preguntas iniciales, que se extendieron de acuerdo con el fluir de la conversación, posibilitando un ejercicio dialéctico y de discusión entre las perspectivas de los participantes del semillero.

Por último, las producciones escritas y audiovisuales realizadas por los participantes sirvieron para complementar la información que brindó el cuestionario KPSI, las entrevistas y los grupos focales. Por ejemplo, para profundizar en lo abordado en el cuestionario KPSI y comprender a profundidad la respuesta de los participantes, tanto en la sesión inicial como en la sesión final del semillero se realizó una actividad en la que ellos respondieron a la pregunta: *¿por qué nos lavamos las manos?*, a través de la elaboración de una cartelera. Sus respuestas fueron digitalizadas y transcritas para su posterior análisis. Adicionalmente, las respuestas del cuestionario KPSI aplicado al finalizar el semillero se complementaron con la elaboración producciones audiovisuales (infografía o vídeo), que sirvieron como entrega final de los participantes para develar lo logrado con las actividades. Dichas producciones mostraron información valiosa en torno al desarrollo del trabajo colaborativo y la responsabilidad personal y social, además en cuanto a la construcción de conceptos relacionados con la microbiología como disciplina desde una perspectiva histórica.

5.4 Criterios de análisis de la información

El análisis de la información registrada usando las diferentes técnicas se realizó mediante el análisis de contenido. Según Piñuel (2002), el análisis de contenido se refiere a un conjunto de procedimientos de tipo interpretativo en el que se toman productos comunicativos como textos o discursos que proceden de procesos de comunicación registrados previamente, y se tiene como objetivo elaborar y procesar datos relevantes teniendo en cuenta una lógica

basada en la combinación de categorías. El análisis de contenido debe incluir los siguientes pasos: selección de la comunicación a estudiar; selección de las categorías a utilizar; selección de las unidades de análisis; y selección del sistema de recuento o de medida.

En un primer paso, la selección de las comunicaciones a estudiar atendió a las diferentes técnicas de registro mencionadas anteriormente entre las cuales se encuentran: entrevistas, grupos focales, cuestionario KPSI y producciones de los participantes del semillero, además de su codificación como se muestra en la tabla 3. Es importante mencionar que dentro de este proceso de codificación se tuvieron en cuenta a los participantes, codificados como P y un número del 1 al 7 y, a las investigadoras, codificadas como investigadora 1 e investigadora 2.

En segundo lugar, se construyeron una serie de categorías e indicios para la clasificación de la información que se detallarán posteriormente. En tercer lugar, se identificaron las unidades de análisis, entendidas según Gaitán y Piñuel (1998) como unidades seleccionadas durante el tiempo de observación, que se constituyen en objeto de codificación y clasificación. Por último, teniendo en cuenta dichas unidades de análisis y su relevancia de acuerdo con cada categoría, se realizó la selección del sistema de recuento; esta etapa se puede evidenciar en lo presentado en la figura 4, además de en el apartado de hallazgos.

Tabla 3

Codificación de los instrumentos de registro de información utilizados durante cada sesión de las secuencias didácticas

Sesión	Instrumento
1	Cuestionario KPSI (CK1)
1	Cartelera inicial (CA1)
5 y 6	Grupo focal (GF1)
6	Cartelera final (CA2)
7	Grupo focal (GF2)
12	Producciones de los participantes: vídeos, tik tok, infografías (Producción PR+Código del estudiante)
12	Cuestionario KPSI (CK2)
12	Entrevista final (EF)

Nota. Elaboración Propia.

Figura 4
Matriz de análisis

LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES				
Matriz Red de categorías y Análisis				
Título del Proyecto	La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el trabajo colaborativo: La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar			
Autores:	Mariana Uribe Correa - Ximena Arredondo Ayala			
Núcleos temáticos	Experimentación cualitativa exploratoria en la enseñanza de la microbiología - Semilleros escolares de investigación en Ciencias para el desarrollo de competencias para el siglo XXI			
Objetivo general	Analizar de qué manera la experimentación cualitativa exploratoria permite aportar al desarrollo de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo, desde la enseñanza de la microbiología en el marco de un semillero escolar.			
Objetivo específico 1	Examinar los discursos de los participantes del semillero escolar alrededor de la experimentación en relación con la responsabilidad personal-social y el trabajo colaborativo.			
Objetivo específico 2	Describir los aportes de la experimentación cualitativa exploratoria al desarrollo de competencias para el Siglo XXI a través de la enseñanza de la microbiología en un semillero escolar.			
CATEGORÍAS	INDICIOS	UNIDADES DE ANÁLISIS	INSTRUMENTOS DE REGISTRO	RELACIÓN CON MARCO TEÓRICO / INTERPRETACIÓN
Construcción de conceptos referentes a la microbiología	Reconocen los beneficios que tienen los microorganismos en la cotidianidad y el avance científico.	[P7]: La microbiología aporta a la medicina gracias a los microorganismos, ya que estos pueden aportar o destruir nuevos elementos clave para finalizar pandemias o enfermedades (Como la vacuna contra la Fiebre Tifoidea) ¿Qué beneficios tiene para la humanidad? Aporta el descubrimiento de enfermedades infecciosas, desarrollo de vacunas ante enfermedades y descubrimiento de nuevos microorganismos positivos o negativos. ¿Cómo el descubrir microorganismos apoya a el crecimiento en la medicina? Los microorganismos pueden aportar al desarrollo de vacunas contra virus, o contra hongos y bacterias extremadamente patógenas (E.J: el Ébola, el virus de la inmunodeficiencia humana y la Viruela)	PR	Hernández, 2005 (citado en Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013), una formación básica en ciencias permite que los sujetos puedan comprender su entorno y establecer una relación coherente con la ciencia y el mundo.
		Reconozco algunos microorganismos que pueden ser beneficiosos para el ser humano... [P6] Bacilos	CK1	Reconocimiento de microorganismos como los bacilos, usados de forma positiva en la industria alimentaria, por ejemplo, en la elaboración de yogurt.
	Reconocen los perjuicios e implicaciones de los microorganismos en la vida diaria y la salud.		[P2]: Yo también tenía un abuelo, que ellos creían que no pasaba nada [durante la pandemia por COVID-19], que hacían fiestas y todo. Y hubo el bautismo de mi primo. Y en eso no hubo nin... lo hicieron durante la pandemia. En plena pandemia y no hubo cuidados de sanidad. Además, estábamos en un espacio muy reducido y mucha gente, no había ni antibacterial, había un montón de gente, contrataron comida, entonces eso es muy peligroso. Y ahí fue cuando mi abuela se contagió, la mamá del peladito también se contagió y el peladito también se contagió.	GF1
[Ximena] P2, ¿por qué [nos lavamos las manos] con jabón? [P2] Porque como decía P1, [el jabón] sirve para desinfectar y para que los que las bacterias no se reproduzcan y no se pueden generar... Por ejemplo, muchos comemos con las manos y si no, no lavamos las manos llevamos bacterias a la boca que podrían ser dañinas.			GF1	Comprensión, primero, de los virus como microorganismos causantes de enfermedades, segundo, como organismos con un impacto en la vida cotidiana.

Nota. Elaboración Propia.

5.5 Red de categorías de análisis

Para realizar el análisis de la información registrada durante la aplicación de las secuencias didácticas, se diseñó una red de categorías e indicios teniendo en cuenta la taxonomía de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl (2001). Esto con el fin de adecuar los diferentes niveles de habilidad que los participantes pueden alcanzar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con los niveles de complejidad que se buscaron desarrollar durante las sesiones del semillero escolar. Empezando por habilidades de los niveles básicos antes y durante las primeras sesiones como identificar y reconocer; para llegar a niveles superiores durante las sesiones finales como contrastar y tomar decisiones. A continuación, en la tabla 4, se presenta la red de categorías e indicios diseñada.

Tabla 4

Red de categorías e indicios para el análisis de la información registrada durante el desarrollo de las secuencias didácticas

Categorías	Indicios
1. Construcción de conceptos referentes a la microbiología	Identifican la existencia de diferentes tipos de microorganismos.
	Reconocen los beneficios que tienen los microorganismos en la cotidianidad y el avance científico.
	Reconocen los perjuicios e implicaciones de los microorganismos en la vida diaria y la salud.
2. Experimentación cualitativa exploratoria en torno a la microbiología	Aplican conocimientos sobre la microbiología durante la actividad experimental.
	Utilizan adecuadamente instrumentos propios de la microbiología durante la experimentación en el semillero.
	Relacionan las prácticas científicas realizadas durante el semillero con el desarrollo histórico de la microbiología
	Contrastan perspectivas, mediante el diálogo fruto de la actividad experimental, llegando a conclusiones integradoras.

3. Experimentación y desarrollo de competencias: Trabajo colaborativo y responsabilidad personal y social

Estiman el impacto de sus decisiones en pro del bienestar colectivo.

Toman decisiones respecto a la microbiología en beneficio del bienestar propio.

Nota. Elaboración Propia.

La primera categoría, que se refirió a niveles básicos de acuerdo con la taxonomía revisada de Bloom, está centrada en los aspectos disciplinares del semillero con respecto a la microbiología. Para esta categoría se tuvieron en cuenta unidades de análisis que atendieran a la identificación de diferentes tipos de microorganismos tales como hongos y bacterias. Además de esto, fueron clasificadas como parte de esta categoría aquellas unidades de análisis relacionadas con el reconocimiento de beneficios o perjuicios que tuvieran los microorganismos para la vida cotidiana de los participantes del semillero escolar.

La segunda categoría se refirió a la experimentación cualitativa exploratoria en relación con la microbiología, de acuerdo con niveles intermedios en la taxonomía revisada de Bloom. Se tuvieron en cuenta unidades de análisis en las que se apreciara que los participantes lograron aplicar conocimientos sobre la microbiología en la actividad experimental y utilizar de manera adecuada instrumentos experimentales. Por último, hicieron parte de esta categoría las unidades de análisis que mostraron relaciones entre las prácticas de ciencia escolar realizadas en el semillero y el desarrollo histórico de la microbiología.

La tercera categoría, que atendió a los niveles superiores en la taxonomía revisada de Bloom, se refirió a la experimentación cualitativa exploratoria y su relación con el desarrollo de las competencias para el siglo XXI: responsabilidad personal y social y trabajo colaborativo. Fueron clasificadas como parte de esta categoría aquellas unidades de análisis en las que se apreciara, por parte de los participantes, un contraste de perspectivas fruto de la actividad experimental que les permitiera llegar a conclusiones integradoras. Además, hicieron parte de esta categoría unidades de análisis que mostraron la estimación del impacto y la toma de decisiones en pro del bienestar propio y colectivo.

Por otro lado, cabe resaltar que, durante el proceso de organización y análisis de la información registrada, se usaron distintos tipos de herramientas web como soporte del proceso. El software Mendeley facilitó la gestión de referencias bibliográficas y la organización y lectura de los documentos encontrados. Microsoft Excel se usó para la elaboración de matrices de información y análisis. El modelo de lenguaje ChatGPT fue utilizado como una herramienta para la transcripción de audio a texto, y la herramienta web Google Forms sirvió como alternativa para la transcripción de cuestionarios y obtención de datos estadísticos.

5.6 Criterios de credibilidad

En la investigación cualitativa, la información obtenida directamente de los participantes o la interpretación de los investigadores puede presentar variaciones; por esto es importante corroborarla, cruzarla y recogerla en tiempos diferentes (Martínez, 2006). Para garantizar la rigurosidad en dichos procesos, en la presente investigación se utilizaron diversos criterios o estrategias de credibilidad, como lo fueron la triangulación, la validez y la confiabilidad interna, las cuales se presentan con más detalle a continuación.

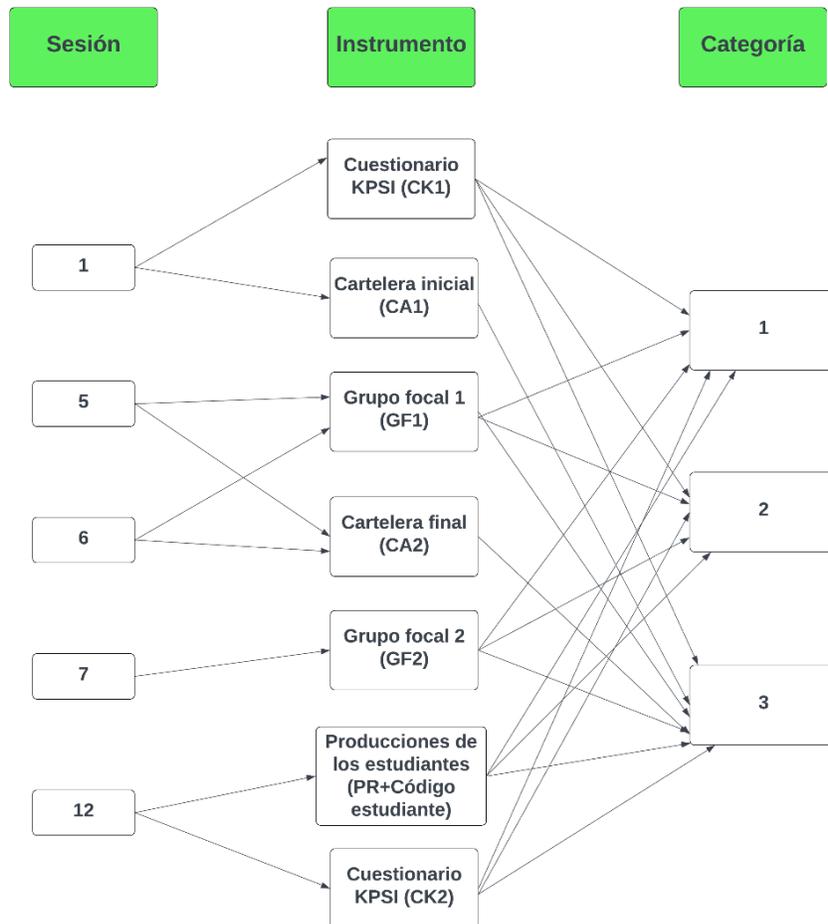
La triangulación de fuentes de datos se da cuando existe consideración del punto de vista de los distintos grupos que conforman la realidad objeto de estudio y se analiza información proveniente de diversas fuentes (Ardoy et al., 2004). Durante esta investigación, la triangulación de fuentes de datos se dio, por un lado, al tener en cuenta el punto de vista de todos los participantes del semillero escolar durante el registro y análisis de la información. Por otro lado, la triangulación estuvo presente gracias al cruce de experiencias, tanto de los participantes del semillero como de las investigadoras, con documentos de otros autores que abordan temas similares, e incluso con documentos estatales e institucionales como los Derechos Básicos de Aprendizaje (2015), los Estándares Básicos de competencias en Ciencias Naturales (2006) y el Plan Integrado de Área en Ciencias Naturales del Colegio San Ignacio (2023).

La triangulación de métodos y técnicas se orienta al uso de diversas estrategias para el estudio de un problema determinado (Martínez, 2006). Para la presente investigación, se utilizaron diversas técnicas para el registro de la información como lo fueron el cuestionario, la entrevista, el grupo focal y las producciones de los participantes del semillero escolar. La información registrada

mediate dichas fuentes, como se muestra en la figura 5, fue cruzada durante el análisis garantizando así una interpretación precisa.

Figura 5

Técnica-instrumento de registro de la información en relación con la sesión y las categorías de análisis



Nota. Elaboración Propia.

Dichos procesos de triangulación se relacionan directamente con la validez interna y la confiabilidad interna. La primera hace referencia específicamente a la búsqueda de una relación causal, y se hace evidente cuando existe un cambio notable en el ambiente estudiado durante la investigación (Martínez, 2006); en este caso, dicho cambio se puede notar al analizar, por ejemplo,

lo registrado en el cuestionario KPSI inicial y final. Por otro lado, la confiabilidad interna se orienta hacia el nivel de concordancia en la interpretación que tienen diferentes observadores de un mismo fenómeno, el mejor aval para la confiabilidad interna es la presencia de más de un investigador (Martínez, 2006); en el caso del presente trabajo, las dos investigadoras participaron en todas las etapas del proceso.

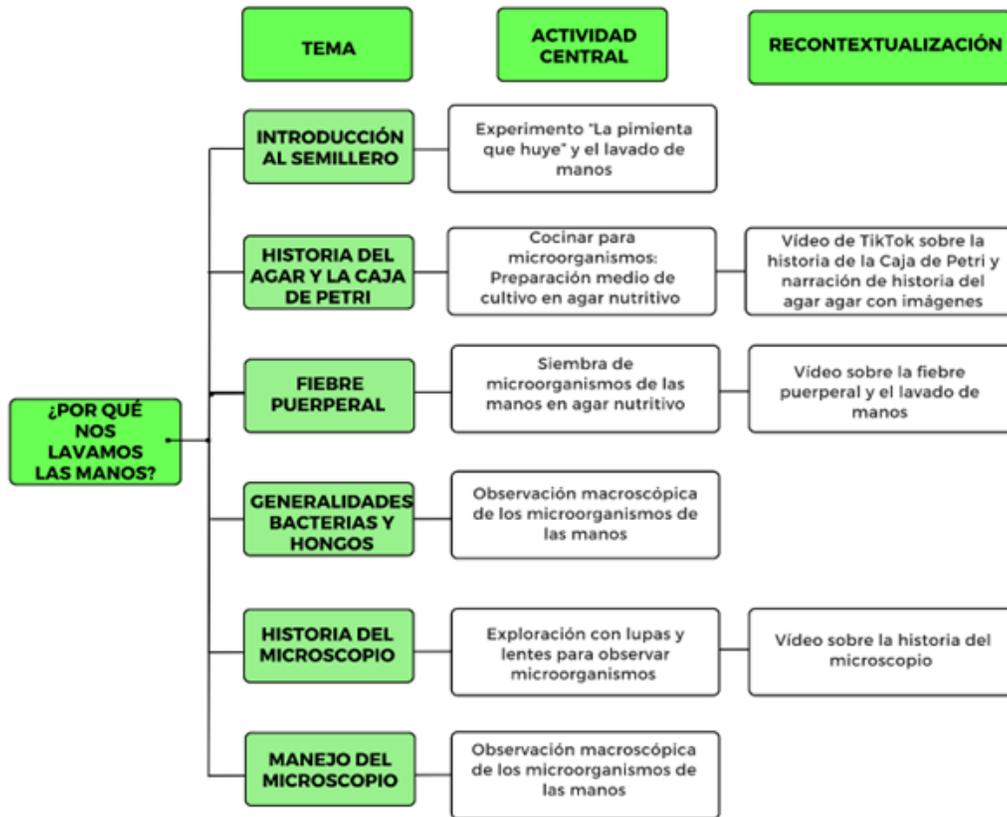
5.7 Enfoque didáctico para la comprensión del caso

Para propiciar el desarrollo de las competencias del siglo XXI mediante la experimentación cualitativa exploratoria, y para orientar el trabajo en el semillero escolar de microbiología, se diseñaron dos secuencias didácticas (anexos 2 y 3). Estas atendieron al Enfoque Didáctico Basado en Prácticas Científicas, en el que según García-Carmona (2021), se busca enseñar ciencia haciendo ciencia y se consideran aspectos epistémicos y no epistémicos en la enseñanza, que guardan relación con una forma de incluir la NOS en la EC. Desde este enfoque didáctico, descrito con detalle en el apartado de fundamentación conceptual, se atiende a una visión más amplia y realista de la ciencia y la construcción de conocimiento científico, logrando sinergia entre procesos cognitivos y procedimentales, y conocimientos científicos y metacientíficos, lo que está ligado a la HFC.

En la figura 6 se presenta un esquema general de la primera secuencia didáctica titulada *¿Por qué nos lavamos las manos?*, en la cual los participantes pudieron adentrarse en el mundo de los microorganismos partiendo de una noción común que es la de microorganismos como seres que enferman y que se deben eliminar. Los objetivos de esta secuencia se relacionaron con la comprensión del impacto de los microorganismos en la salud humana para la toma de decisiones personales y colectivas. Durante el desarrollo de esta secuencia resaltó la actividad de la historia del microscopio debido a su recontextualización, en la cual se pudo evidenciar la experimentación cualitativa exploratoria.

Figura 6

Esquema general de la primera secuencia didáctica



Nota. Elaboración Propia.

Para dicha actividad, se les dio a los participantes lentes y lupas de distinto tipo y tamaño para que con ellas observaran telas y trataran de pensar en cómo podrían ver mejor los detalles: mezclando lentes, jugando con la distancia focal o agregando diversas fuentes de luz. Posteriormente, los participantes pasaron de observar telas a observar microorganismos de sus manos sembrados previamente en cajas de Petri con agar nutritivo, tal como se muestra en la figura 7, llevando la observación macroscópica a la microscópica. Finalmente, los participantes conjugaron sus observaciones, vivencias durante las actividades, y la historia del microscopio en un conversatorio ambientado con imágenes en torno a la historia, los personajes clave y el contexto en el que se desarrolló el microscopio.

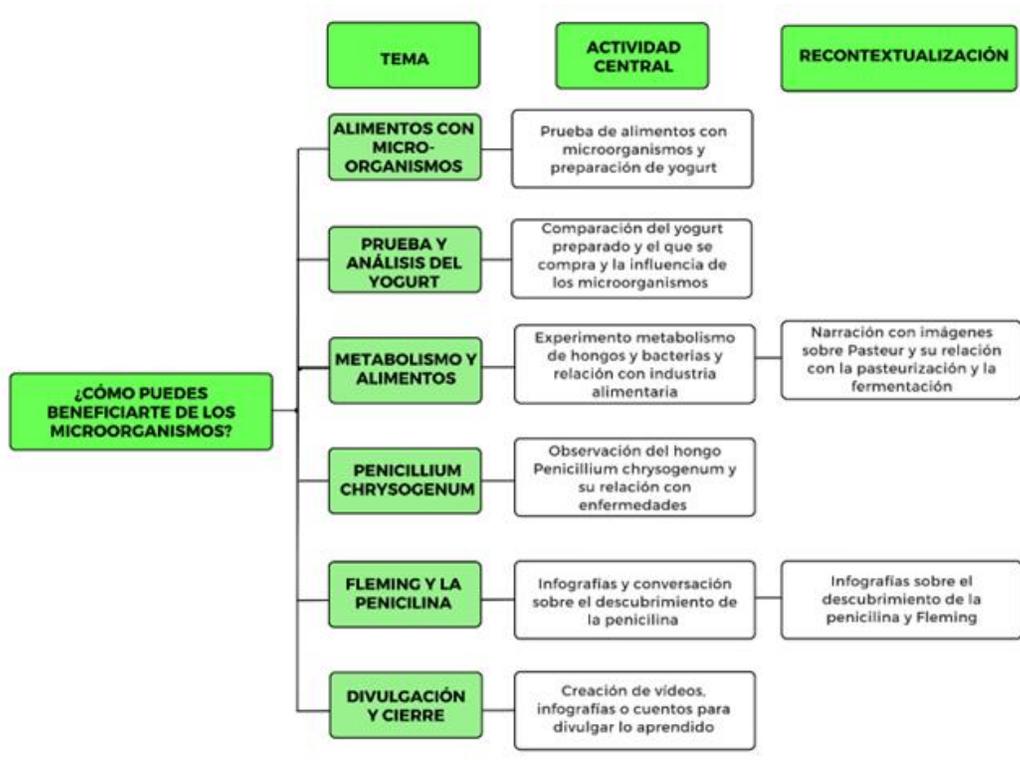
Figura 7

Actividad de observación con lupas y lentes



Nota. Fotografía tomada durante la quinta sesión del semillero. Elaboración Propia.

En la figura 8 se muestra de forma general lo trabajado durante la segunda secuencia didáctica llamada *¿Cómo puedes beneficiarte de los microorganismos?*, la cual estuvo enfocada principalmente en mostrar los beneficios de este tipo de organismos. Para esta secuencia los objetivos estuvieron relacionados con el análisis de los beneficios de los microorganismos en la vida cotidiana por medio de actividades experimentales y el establecimiento de reflexiones colectivas entre los participantes. Dentro de esta secuencia, se destacó la actividad fundamentada en la experimentación cualitativa exploratoria realizada con el hongo *Penicillium chrysogenum* y el descubrimiento de la penicilina por Alexander Fleming (1881 – 1955).

Figura 8*Esquema general de la segunda secuencia didáctica*

Nota. Elaboración propia.

Durante esta actividad, en un primer momento, se les mostró a los participantes el hongo en diferentes maneras, por ejemplo: en un limón, en un medio de cultivo como el agar nutritivo y en el microscopio (figura 9). Después, se les mostraron imágenes de diferentes enfermedades e infecciones cuyo tratamiento es la penicilina y se les preguntó qué relación creían que tiene el hongo observado con estas enfermedades. Posteriormente, se les preguntó si un hongo le podría salvar la vida alguien o curarle de alguna enfermedad, y luego se les contó que esas patologías en las imágenes son tratadas con la penicilina, un antibiótico que se sintetiza a partir del hongo observado. Por último, como recontextualización de la historia de la penicilina y Fleming, se conectó lo observado y discutido con una serie de infografías que mostraban esta historia y el impacto que ha tenido.

Figura 9

Hongo penicillium 40x



Nota. Fotografía tomada durante la sesión 10 del semillero. Elaboración Propia.

5.8 Consideraciones éticas

A la hora de desarrollar investigaciones de carácter cualitativo, se deben tener en cuenta consideraciones éticas pertinentes a la ciencia en general, además de otras particulares, relativas a las características del ser humano de manera individual y como ser social (González Ávila, 2002). Para esto, los investigadores deben tener en cuenta algunos aspectos, los cuales se presentan a continuación desde la perspectiva González Ávila (2002) vinculados con el presente proyecto de investigación:

- **Valor social o científico:** Referido a la capacidad de la investigación para crear conocimiento que aporte a la superación o solución de problemas, en este caso el desarrollo de competencias esenciales para los ciudadanos del siglo XXI.

- **Validez científica:** Apunta a los criterios de credibilidad bajo los cuales fue realizada la investigación, los cuales, para la presente investigación fueron abordados con anterioridad.
- **Selección equitativa de los sujetos:** Hace referencia a una escogencia de los sujetos relacionada con las interrogantes científicas.
- **Proporción favorable del riesgo-beneficio:** Se refiere a que la investigación no presente riesgos para los sujetos y por el contrario reciban beneficios a cambio de su participación, en este caso, los participantes no estuvieron expuestos a riesgos ligados a la investigación.
- **Condiciones de diálogo auténtico:** Se relaciona con la apertura de la investigación y posibilidad de sus participantes para expresar lo que en realidad piensan y sienten, sin estar condicionados por los investigadores para dar respuestas esperadas. En este caso, al generar un ambiente de apertura y utilizando técnicas como el grupo focal, los participantes pudieron expresar sus ideas y opiniones de forma auténtica.
- **Evaluación independiente:** Se refiere a la evaluación de la investigación por personas no afiliadas a este.
- **Consentimiento informado:** Asegura que todos los individuos participen en la investigación siempre y cuando esta sea compatible con sus intereses y valores. Para la presente investigación se redactó un consentimiento informado (anexo 4) que fue firmado por los padres de familia de los participantes, ya que estos son menores de edad, en el cual se detallaron los objetivos, alcances, afiliaciones y demás características generales de la investigación y mediante el cual los acudientes consentían el uso de la información registrada para fines académicos.
- **Respeto a los sujetos inscritos:** Incluye criterios como el permitir que los participantes cambien de opinión y puedan retirarse sin sanción de la investigación. Este apartado se abordó como clausula en el consentimiento informado.

6. Hallazgos

A continuación, se presentan los resultados del análisis categorial y de contenido realizado, poniendo en diálogo la información registrada durante las sesiones del semillero escolar en microbiología, la visión propia de las investigadoras y lo construido en la fundamentación conceptual. Es importante aclarar que los participantes tres y cuatro (P3 y P4 respectivamente) estuvieron en gran parte de las actividades del semillero, sin embargo, por motivos de intercambio académico en el exterior no estuvieron presentes en la sesión final, por lo que a ellos no se les aplicó el cuestionario KPSI final (CK2) ni la entrevista final (EF); por lo tanto, en los gráficos y las unidades de análisis de estos dos instrumentos no se consideran ellos.

6.1 Construcción de conceptos referentes a la microbiología

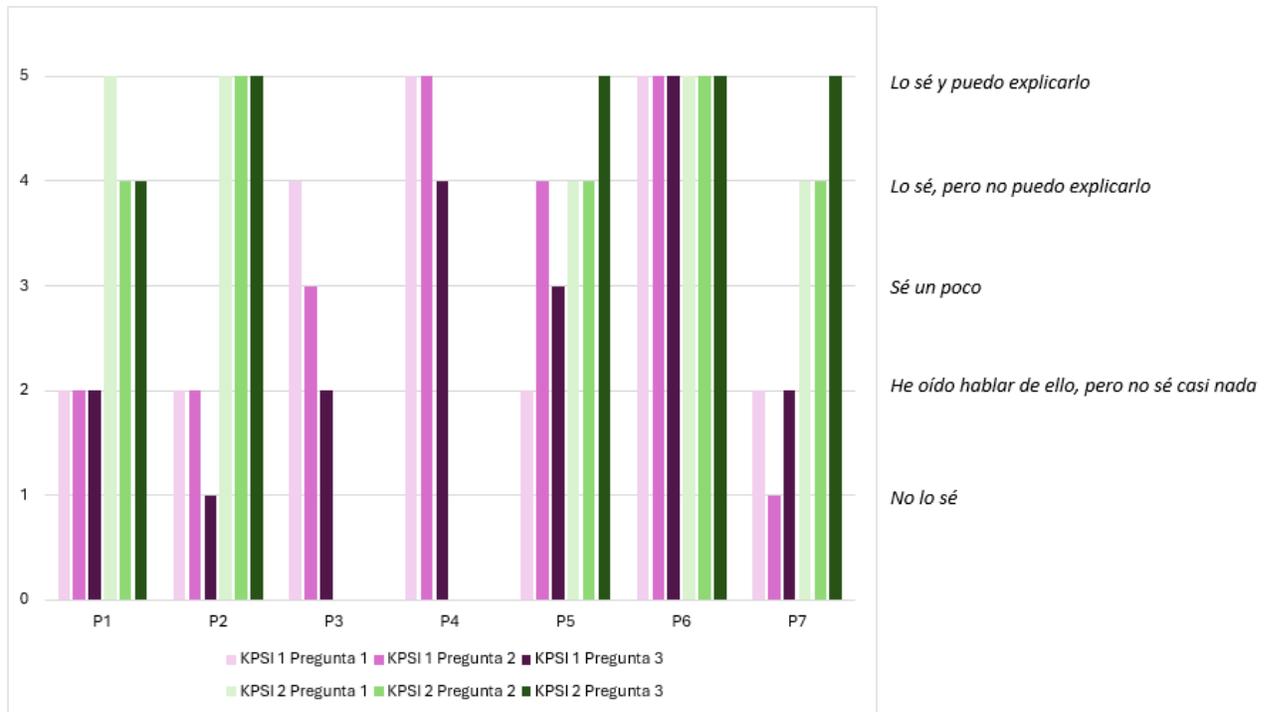
Esta categoría se refiere a la parte disciplinar del semillero escolar, la microbiología, y la construcción de conceptos en torno a ella. Por lo tanto, siguiendo la taxonomía de Bloom, se propusieron los siguientes indicios para los participantes del semillero:

- Identifican la existencia de diferentes tipos de microorganismos.
- Reconocen los beneficios que tienen los microorganismos en la cotidianidad y el avance científico.
- Reconocen los perjuicios e implicaciones de los microorganismos en la vida diaria y la salud.

Buscando analizar los conocimientos de los participantes al principio y finalización de las secuencias didácticas del semillero, se realizó la aplicación del cuestionario KPSI inicial (CK1) y final (CK2). Los tres primeros enunciados de dicho cuestionario fueron: 1, conozco los diferentes tipos de microorganismos que existen; 2, identifiqué microorganismos asociados a algunas enfermedades; 3, reconozco algunos microorganismos que pueden ser beneficiosos para el ser humano, los cuales, están directamente relacionados con la presente categoría de análisis. La figura 10 muestra las respuestas de los participantes a dichos enunciados tanto para el cuestionario inicial como para el final.

Figura 10

Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría



Nota. Se presentan las respuestas a las preguntas 1, 2 y 3 de ambos cuestionarios. En color rosado para el KPSI 1 y en color verde para el KPSI 2.

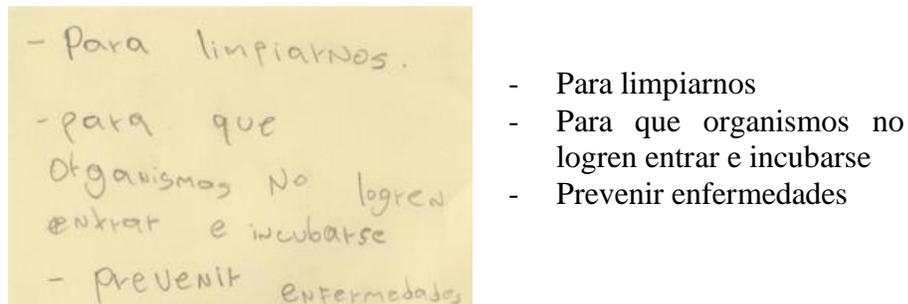
En dicha gráfica se puede evidenciar que, antes de la aplicación de las secuencias didácticas, los participantes mostraron un conocimiento general bajo-intermedio respecto a los enunciados abordados. Esto contrasta con las respuestas a este mismo cuestionario posteriores a las sesiones del semillero, ya que ellos afirmaron tener un mayor entendimiento respecto a los diferentes tipos de microorganismos, además de sus beneficios y las enfermedades que pueden causar. En este sentido, como respuestas para el cuestionario KPSI final, todos los participantes estuvieron en los niveles 4 y 5 del cuestionario, lo cual muestra un entendimiento claro de los temas, incluso llegando al nivel de considerar que pueden explicarlos.

Tomando como ejemplo los aportes del participante 1 (P1) para el cuestionario KPSI inicial (CK1P1), se evidencia en sus respuestas un conocimiento limitado en lo que respecta a aspectos básicos de la microbiología, esto está en concordancia con lo expresado por Morcillo Molina (2015) cuando se refiere a que, en general, hay poca comprensión de esta disciplina y existen

dificultades para su aprendizaje. Esto, además, se relaciona con la poca presencia de la microbiología en el currículo institucional del Colegio San Ignacio. Esta limitación en el conocimiento que tenían los participantes acerca de la microbiología se puede evidenciar, por otro lado, en el aporte a la cartelera inicial que realizó el mismo participante (CAP1) a la pregunta *¿Por qué nos lavamos las manos?*, como se presenta en la figura 11.

Figura 11

Fotografía del aporte del participante P1 a la cartelera inicial



Nota. Fotografía tomada durante la primera sesión del semillero.

En dicha unidad de análisis el participante no realizó una distinción entre organismos de forma general y microorganismos en particular, además, no especificó qué tipos de microorganismos son aquellos que pueden causar enfermedades y se deben *prevenir* o *limpiar*.

Por otro lado, y retomando el cuestionario KPSI inicial, se puede identificar que, aunque algunos de los participantes dieron respuestas en las que afirmaron tener conocimientos considerables sobre un tema, se les dificultó ejemplificarlo, lo que podría indicar en cambio un conocimiento básico de dichas temáticas. Esto se puede evidenciar en la figura 12, la cual muestra la respuesta a la primera pregunta del cuestionario KPSI inicial por el participante 3 (CK1P3).

Figura 12

Digitalización de la primera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI inicial para el participante P3

Planteamiento	1	2	3	4	5	Respuesta o ejemplo
Conozco los diferentes tipos de microorganismos que existen				X		Células

Nota. Digitalización de la actividad realizada durante la primera sesión del semillero.

Esta respuesta muestra que el participante 3 (P3) no logra identificar los diferentes tipos de microorganismos existentes, generalizando todos estos dentro de la categoría de *células*. Esta visión desde lo celular tiene su símil en uno de los primeros desarrollos históricos en el campo de la microbiología, la observación de la célula en una lámina de corcho realizada por Robert Hooke (1635–1703). Esta perspectiva, aunque es una base importante respecto a la historicidad de la disciplina debe ser trascendida si se quieren comprender a profundidad los microorganismos y su impacto para la vida humana.

Ahora bien, durante la última sesión del semillero se volvió a aplicar el cuestionario KPSI (CK2) y las respuestas de los participantes evidenciaron una apropiación alta de los conceptos relativos a la microbiología. En la figura 13 se puede apreciar la respuesta del participante 1 (P1) para la pregunta número 1.

Figura 13

Digitalización de la primera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI final para el participante P1

Planteamiento	1	2	3	4	5	Respuesta o ejemplo
Conozco los diferentes tipos de microorganismos que existen					X	Virus, bacterias y hongos

Nota. Digitalización de la actividad realizada durante la última sesión del semillero.

Esta respuesta deja ver que el participante logró identificar, posterior a la aplicación de las secuencias didácticas, diferentes tipos de microorganismos como virus, bacterias y hongos, lo que atiende al primer indicio de la presente categoría: Identifican la existencia de diferentes tipos de microorganismos. Es importante que los participantes puedan familiarizarse con estos conceptos primarios de la microbiología, ya que, según Izquierdo et al. (2004), la ciencia se configura como una edificación de conceptos, que debe darse en el aula para así poder llegar a construcciones significativas de pensamientos, expresiones, sentimientos y acciones que posibiliten la transformación del entorno. Es decir, al poder apropiarse de este tipo de conocimientos primarios, los participantes tienen una base apropiada para la construcción de conocimientos o habilidades más complejas, como será detallado en las próximas categorías.

Por otro lado, a lo largo de la sexta sesión de la primera secuencia didáctica fue realizado el primer grupo focal (GF1), que tuvo como objetivo abordar lo aprendido por los participantes respecto a los prejuicios de los microorganismos. Se encontraron apreciaciones de ellos tales como:

[P2]: [el jabón] sirve para desinfectar y para que los que las bacterias no se reproduzcan y no se pueden generar. Por ejemplo, muchos comemos con las manos y si no nos lavamos las manos llevamos bacterias a la boca que podrían ser dañinas.

Posteriormente, y durante el mismo grupo focal, el participante relaciona este conocimiento con una experiencia que tuvo en el pasado de la siguiente manera:

[P2]: Yo también tenía un abuelo, que ellos creían que no pasaba nada [durante la pandemia por COVID-19], que hacían fiestas y todo. Y hubo el bautismo de mi primito. Y en eso no hubo nin... lo hicieron durante la pandemia. En plena pandemia y no hubo cuidados de sanidad. Además, estábamos en un espacio muy reducido y mucha gente, no había ni antibacterial, había un montón de gente, contrataron comida, entonces eso es muy peligroso. Y ahí fue cuando mi abuela se contagió, la mamá del peladito también se contagió y el peladito también se contagió.

Estas unidades de análisis muestran la comprensión de los virus como microorganismos causantes de enfermedades y como organismos con un impacto en la vida cotidiana, esto evidencia el reconocimiento de los prejuicios e implicaciones de los microorganismos en la vida y la salud, lo que apunta al indicio número tres: Reconocen los prejuicios e implicaciones de los microorganismos en la vida diaria y en la salud. Este entendimiento de la microbiología desde lo cotidiano pudo ser construido gracias a la inclusión de la experimentación cualitativa exploratoria

en las actividades del semillero, ya que esta según Ruiz Molina et al. (2021) establece un equilibrio entre teoría y práctica, y no dispone de un marco conceptual establecido, sino que propicia las condiciones para la construcción del conocimiento, a partir de las variaciones que pueden hacerse con los experimentos y los instrumentos para ver qué pasa y desarrollar nuevos conceptos.

Puntualmente, en cuanto a los instrumentos, se destacan los medios de cultivo hechos con agar-agar en cajas de Petri y el microscopio, ya que estos fueron claves en las actividades del semillero que permitieron construir conceptos acerca de la microbiología y a su vez, tienen un papel fundamental en el desarrollo histórico de esta disciplina. A su vez esto se relaciona con lo planteado por García Arteaga y Morcillo Molina (2017), quienes dicen que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias no puede tratarse de una manera aislada. Es aquí donde entra la importancia del abordaje de los microorganismos y su impacto en la vida cotidiana, lo que permite a los participantes extrapolar estos conocimientos a otras situaciones de su vida y posteriormente les ayuda a tomar decisiones basadas en conocimientos científicos.

Por otro lado, en la segunda secuencia didáctica fueron abordados algunos de los beneficios de los microorganismos. Esto se realizó teniendo en cuenta los beneficios en la industria alimentaria y en la industria farmacéutica. Ahora bien, durante la última sesión del semillero los participantes pudieron realizar una producción, ya fuera infografía o un video (PR), de un tema a elección relacionado con los microorganismos. El participante 7 (P7) decidió realizar una infografía (PRP7) respecto al impacto de la microbiología en la medicina, un fragmento de esta se puede ver a continuación en la figura 14.

Figura 14

Fragmento de la infografía realizada por el participante P7



Nota. Actividad realizada durante la última sesión del semillero.

A partir de esta unidad de análisis se puede evidenciar que el participante logró reconocer beneficios de los microorganismos para la humanidad, en algo tan importante como lo es el área de la salud; tal como se propone en el segundo indicio de la presente categoría: Reconocen los beneficios que tienen los microorganismos en la cotidianidad y el avance científico. El participante, además, relacionó a los microorganismos con algunas enfermedades infecciosas y apuntó a que el conocimiento de estos microorganismos es importante porque puede llevar a una cura para enfermedades, lo que también se evidencia en la figura 15, con la respuesta que da el mismo participante a la tercera pregunta del cuestionario KPSI final (CK2P7). Se puede plantear entonces que el acercamiento que tuvo durante las sesiones del semillero, con respecto a la penicilina y su

acción bactericida, le permitió reconocer que existen enfermedades que tienen cura gracias al estudio de microorganismos.

Figura 15

Digitalización de la tercera pregunta y respuesta del cuestionario KPSI final para el participante P7

Reconozco algunos microorganismos que pueden ser beneficiosos para el ser humano					X	Diferentes bacterias para el desarrollo de curas.	Diferentes bacterias para el desarrollo de curas
--	--	--	--	--	---	---	--

Nota. Digitalización de la actividad realizada durante la última sesión del semillero.

Para Hernández, 2005 (como se citó en Castro Sánchez y Ramírez Gómez, 2013), una formación básica en ciencias permite que los sujetos puedan comprender su entorno y establecer una relación coherente con la ciencia y el mundo. Esto se evidenció en los ya mencionados aportes del participante P7, ya que de una sesión de semillero referente a un único microorganismo y sus beneficios en la medicina (hongo *Penicillium* y la Penicilina), logró precisar que otro tipo de microorganismos podrían aportar a la cura de enfermedades infecciosas.

Puede decirse entonces que las unidades de análisis que fueron registradas para esta categoría permiten dar cuenta de la apropiación que tuvieron los participantes respecto a diferentes aspectos de la microbiología, entre ellos, la identificación de diferentes tipos de microorganismos y el reconocimiento tanto de beneficios como de perjuicios que estos tienen para la salud y la vida cotidiana. Esta conexión que se pudo forjar entre microbiología como ciencia, medicina y la vida cotidiana, fue posible por la visión holística con la que se abordaron las sesiones del semillero gracias a la perspectiva de la NOS, que, retomando a Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016), permite establecer relaciones entre disciplinas y explorar no solo aspectos cognitivos sino también actitudinales involucrados en la construcción de conocimiento.

6.2 Experimentación cualitativa exploratoria en torno a la microbiología

Esta segunda categoría está centrada en el desarrollo histórico de la microbiología, en el que ha sido primordial la experimentación del tipo cualitativo exploratorio, y el desarrollo de

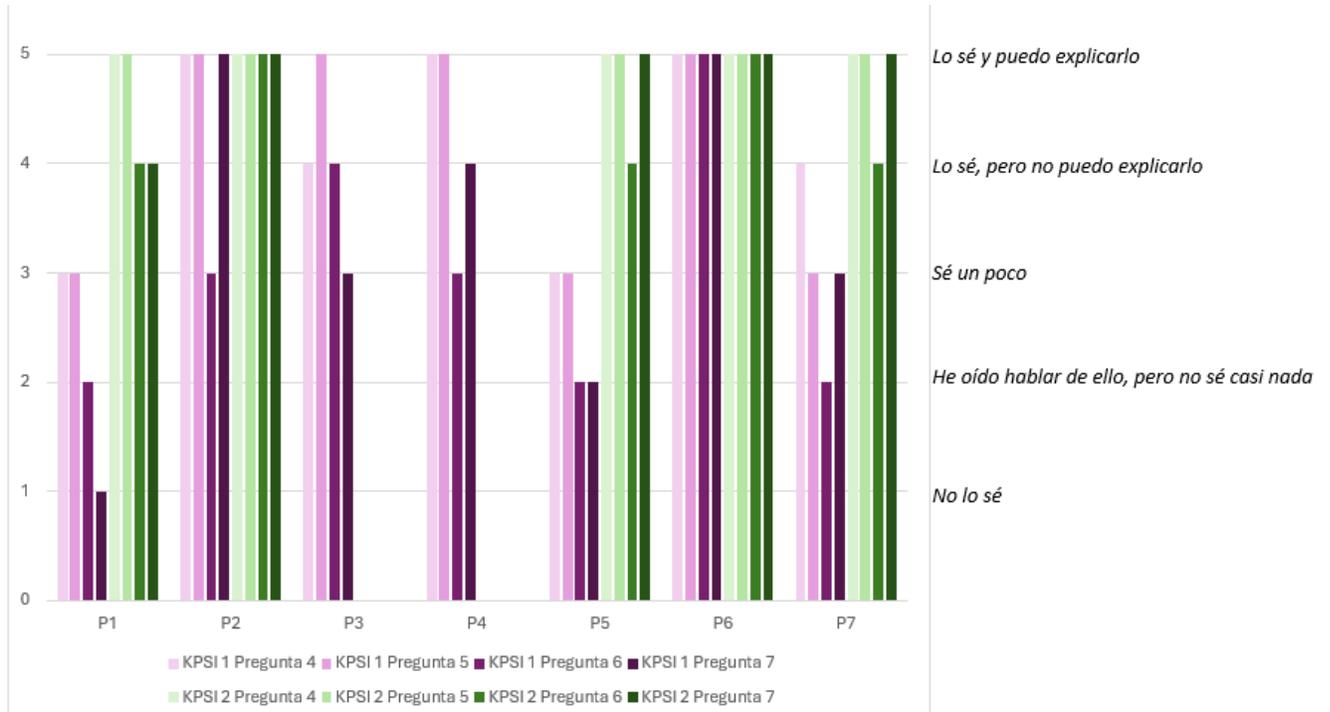
instrumentos propios de esta ciencia. Para esta categoría, según la taxonomía de Bloom revisada, se propusieron los siguientes indicios:

- Aplican conocimientos sobre la microbiología durante la actividad experimental.
- Utilizan adecuadamente instrumentos propios de la microbiología durante la experimentación en el semillero.
- Relacionan las prácticas científicas realizadas durante el semillero con el desarrollo histórico de la microbiología.

Para tener un registro de los conocimientos previos y posteriores que tenían los participantes del semillero con respecto a la aplicación de las unidades didácticas fue realizado el cuestionario KPSI inicial y final, como se ha detallado con anterioridad. Las preguntas a dichos cuestionarios que hacen referencia a la presente categoría fueron la 5, distingo algunos instrumentos utilizados en la experimentación en microbiología; 6, sé utilizar algunos instrumentos para la experimentación en microbiología; 7, doy cuenta de las diferentes maneras de experimentar y construir conocimiento científico; y 8, soy consciente de cómo el conocimiento científico se construye colectivamente, y sus respuestas se evidencian en la figura 16.

Figura 16

Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría



Nota. Se presentan las respuestas a las preguntas 4, 5, 6 y 7 de ambos cuestionarios. En color rosado para el KPSI 1 y en color verde para el KPSI 2.

Si se comparan las respuestas del cuestionario inicial con el final, se puede apreciar que los participantes manifiestan tener un mayor conocimiento de estas cuestiones posterior a la aplicación de las secuencias didácticas dentro del semillero escolar, con todas las respuestas estando en los dos niveles más altos. En particular, el participante 5 (P5) responde en el cuestionario KPSI inicial (CK1P5) que *sabe un poco* acerca del uso de instrumentos utilizados en la experimentación en microbiología, al igual que *sabe un poco* del uso de estos instrumentos, y se resalta que no brinda ejemplos de dichos instrumentos o su uso. Ahora bien, durante el cuestionario KPSI final (CK2P5), el mismo participante manifiesta saber y poder explicar el uso de instrumentos propios de la experimentación en microbiología, y proporciona ejemplos de ellos como el microscopio y la caja de Petri, tal como se puede evidenciar en la figura 17.

Figura 17

Digitalización de la cuarta y quinta respuestas al cuestionario KPSI final del participante P5

Distingo algunos instrumentos utilizados en la experimentación en microbiología					X	microscopio, caja de Petri, etc.	Microscopio, caja de Petri, etc.
Sé utilizar algunos instrumentos para la experimentación en microbiología					X	Sé usar el microscopio y otros	Sé usar el microscopio y otros

Nota. Digitalización de la actividad realizada durante la última sesión del semillero.

Estas unidades de análisis dan cuenta del avance que tuvo el participante respecto a sus conocimientos y habilidades en el uso de instrumentos importantes para la microbiología, al ser comparadas con lo mostrado en la ya mencionada figura 16 para el cuestionario KPSI inicial. Esto apunta a los indicios uno y dos para la presente categoría: Aplican conocimientos sobre la microbiología durante la actividad experimental y utilizan adecuadamente instrumentos propios de la microbiología durante la experimentación en el semillero. Hay que recordar que, desde la perspectiva de la HFC, la comprensión de los instrumentos en la construcción de explicaciones científicas se considera fundamental en la enseñanza, en particular en relación con la experimentación cualitativa exploratoria, en la que el instrumento cobra gran validez en la comprensión de los fenómenos, puesto que implica la creación, utilización y variación de instrumentos y condiciones experimentales para determinar regularidades empíricas y construir conceptos científicos. Esto se relaciona con el hecho de que la microbiología, según García Arteaga y Morcillo Molina, (2017):

“es una de las ramas de la biología que tiene un carácter experimental por su naturaleza, pues, al tratarse de seres microscópicos, ha requerido de un arduo trabajo mediante el experimento para poder conocer y entender el comportamiento de estos”. (p. 82)

A partir de lo evidenciado en estas unidades de análisis, vale la pena destacar la propuesta del enfoque didáctico basado en prácticas científicas (García-Carmona, 2021), ya que, al

consolidarse la microbiología como una ciencia gracias al uso de instrumentos, el involucrar estos en la enseñanza permite *aprender ciencia haciendo ciencia*, premisa clave de esta propuesta. Sumado a esto, este enfoque didáctico presenta una visión integradora de la actividad científica que permite reconocer la historicidad de las ciencias, al abordar su enseñanza desde la perspectiva de la NOS; considerar la ciencia como una actividad humana y una construcción social, a partir de la integración de aspectos epistémicos y no epistémicos de su desarrollo, y vislumbrar que es posible hacer un tipo de ciencia, la ciencia escolar, desde el trabajo en las aulas.

En este sentido, es importante traer a colación a Osborne (2014 como se citó en García-Carmona, 2021) quien propone que la participación en prácticas científicas en la escuela tiene sentido solo si: (a) contribuye al desarrollo de una comprensión amplia y profunda de lo que sabemos, de cómo lo sabemos y de los principios que guían la práctica científica; (b) constituye un medio más efectivo para adquirir ese conocimiento; y (c) ofrece una representación auténtica de la ciencia. Gracias a esto, los participantes del semillero pudieron poner en juego procesos cognitivos, habilidades procedimentales y sus conocimientos de la microbiología y sobre la microbiología para aprender de ella de forma significativa y desarrollar competencias claves para el siglo XXI, como la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo.

Por otro lado, los ejemplos de instrumentos que aborda el estudiante (CK2P5) que son el microscopio y la caja de Petri, son importantes ya que se evidencia que logra abordar a los microorganismos desde lo macro y lo micro, perspectivas que se complementan y son necesarias para una comprensión completa de la naturaleza de la microbiología. Esto se relaciona en principio con la importancia que tuvo para la historia de la microbiología el desarrollo del microscopio y su utilización para ratificar la existencia de los microorganismos, ya que esto le permitió no solo a van Leeuwenhoek, sino al resto del mundo vislumbrar que estaban rodeados de diminutas representaciones de vida, tan diminutas que no se podían apreciar sin la ayuda de este instrumento (Avendaño et al.,2020) y pasar del análisis del mundo desde lo macroscópico a lo microscópico. Esto sucedió también con los participantes del semillero, que primero observaron los microorganismos de forma macro a través de medios de cultivo en cajas de Petri, para después observarlos al microscopio y profundizar en su comprensión. Inclusive, fueron esos medios de cultivo, los que le permitieron a Pasteur transportar al “microcosmos del laboratorio el macrocosmos de la sociedad entera” (Latour, 1995 b, p.144) y realizar todos sus grandes aportes a la microbiología.

Ahora bien, con relación a las actividades realizadas durante el semillero, resalta que los participantes logran relacionar estas con el desarrollo histórico de la microbiología, como se propone en el tercer indicio: Relacionan las prácticas científicas realizadas durante el semillero con el desarrollo histórico de la microbiología. Durante la entrevista final (EF), una de las investigadoras pregunta cómo los experimentos realizados estuvieron relacionados con la historia de la microbiología, y el participante [P7] menciona (EFP7):

[P7] Pues esos experimentos están relacionados más que todo con un experimento sobre las lupas, que antes el microscopio no se usaba, pues como no se había inventado todavía se usaban lupas. Entonces yo creo que eso fue como lo que nos ayudó con la historia porque nos retomaba tiempos en los que se usaban las lupas o los lentes.

La anterior unidad de análisis brinda un enlace directo a la historia del microscopio y al papel de van Leeuwenhoek en el desarrollo de este, pues de forma empírica él construyó un microscopio partiendo de lentes y lupas simples, que usaba como comerciante para evaluar la calidad de las telas, y fue precisamente esto lo que recrearon los participantes en el semillero. La entrevista final (EFP7) con el participante P7 continúa de la siguiente manera:

[Investigadora 1] ¿Y ustedes hicieron también experimentos así?

[P7] Algunos.

[Investigadora 1] ¿O sea que era como si ustedes estuvieran haciendo qué con la historia?

[P7] Como si estuviéramos retomando momentos o volviendo al pasado, y recreando a la vez momentos.

A su vez, el participante [P6] responde lo siguiente:

[Investigadora 1] Por ejemplo, recreando lo que ya se hizo en tiempos pasados para entender mejor cómo era que lo hacían.

[Investigadora 1] ¿Ejemplo?

[P6] Ejemplo el trabajo de las lupas con los microscopios de antes y el agar-agar. Pues cuando con una lupa intentamos como mirar ángulos para aumentar como la visión a algo y el agar-agar cuando lo recreamos como un campo para sembrar bacterias.

Como se puede evidenciar, ambos participantes hicieron referencia a dos episodios importantes en el desarrollo histórico de la microbiología mencionados anteriormente; el primero, el perfeccionamiento de las técnicas microscópicas; el segundo, el descubrimiento del agar-agar como medio de cultivo para microorganismos, que fue de vital importancia ya que permitió su

observación desde lo macroscópico. De hecho, tanto el agar-agar como el microscopio, les permitieron a Pasteur y a Koch, perfeccionar sus técnicas y pasar de la escala de lo macro a lo micro, para saber cómo se daban las enfermedades infecciosas. Así pues, con estos dos hechos históricos se convalida entonces el impacto que los instrumentos tienen en la construcción de conceptos científicos desde la perspectiva de la HFC. Al respecto Izquierdo et al. (2004) indican en cuanto a los instrumentos que “en la historia de la ciencia podemos ‘ver’ cuándo y por qué se inventaron, cómo se utilizaron y cómo se perfeccionaron; y los conceptos abstractos que surgieron debido a ellos y a los ‘números’ (magnitudes) que proporcionaron”.

De igual forma, estos dos hechos históricos fueron posibles gracias a la experimentación cualitativa exploratoria, que a su vez fue protagonista durante la aproximación realizada durante las sesiones del semillero, en las que se rescataba la importancia de la prueba y el error como un proceso presente e indispensable dentro de las construcciones científicas. Esto está en concordancia con los aportes de Steinle (2002), que menciona que los instrumentos desde el trabajo cualitativo exploratorio permiten una gran variedad de resultados, incluso inesperados y además posibilitan una gran multiplicidad de variaciones, para lograr comprender fenómenos y construir conceptos.

Por otro lado, se hace evidente que para el desarrollo de las actividades experimentales involucradas en las diferentes sesiones del semillero, fue necesario un abordaje de la experimentación como un proceso con riqueza conceptual propia, lo que permitió, tal como proponen García Arteaga y Morcillo Molina (2017), lograr un equilibrio entre teoría y práctica, trascendiendo del enfoque positivista de la actividad científica, es decir, la actividad experimental dejó de verse como subsidiaria a la teoría, y tomó protagonismo en la construcción de ciencia escolar.

Es entonces que el equilibrio teórico-práctico y el uso de instrumentos se hacen evidentes en el aporte que hace el participante [P6], durante la entrevista final (EF), a la pregunta ¿Qué aspectos de la microbiología necesitaste saber para hacer los experimentos del semillero? (EFP6):

[P6] Necesité saber cómo usar un microscopio, qué eran ciertos tipos de bacterias y cosas así para no enfermarse y, cómo hacer ciertos procesos para no tener lesiones.

[Investigadora 2] ¿Por ejemplo qué procesos?

[P6] Por ejemplo el de calentar el asa, el de tener tapabocas y guantes y, de una manera sacar lo de una bacteria, porque las esporas me podían enfermar y eso.

A su vez, el participante [P1] responde lo siguiente a la misma pregunta (EFP1):

[P1] Cómo saber utilizar un microscopio, cómo hacer el agar-agar, manejar los instrumentos, cómo recoger las muestras para que crezcan los microorganismos en el agar-agar.

[Investigadora 2] Ok, después del semillero y con lo que tú ya sabes de microbiología, ¿qué experimentos se te ocurren realizar?

[P1] Como que tomar muestras de alguna parte con un copito y ponerlas en el agar-agar y dejar que crezcan un poquito los microorganismos y empezarles a dar comida para que crezcan más y poder verlos mejor y analizarlos.

Las respuestas de ambos participantes mostraron un conocimiento importante acerca de los microorganismos y sus características. Además del uso de instrumentos implicados en los experimentos como lo son el microscopio, el asa, el mechero y el agar-agar. El ligar los conocimientos propios de la disciplina con sus instrumentos y su desarrollo histórico es un ejercicio que requiere creatividad, lo que está en concordancia con lo propuesto por Steinle (2002) acerca de los aportes a nivel epistemológico de la experimentación cualitativa exploratoria, en la que se evidencia una complementariedad entre teoría y práctica, tal como se ve en diversas fases del desarrollo de una ciencia. Puntualmente, a partir del reconocimiento del valor del instrumento para la comprensión de conceptos., el participante se acerca a reflexiones epistemológicas tales como ¿cómo se construye un conocimiento?, y ¿qué procedimientos son necesarios para su comprensión?

Otro aspecto de vital importancia a la hora de hablar del desarrollo histórico de la ciencia, y en particular de la microbiología, desde la experimentación, hace referencia a la construcción del conocimiento científico de manera colectiva, y es que el conocimiento científico resulta del producto de discusiones basadas en el razonamiento y la persuasión (Kelly, McDonald y Wickman 2012 como se citó en García-Carmona, 2021), pero además y en concreto para la microbiología, de la utilización de un conjunto de instrumentos y técnicas creadas por diferentes personas, por ejemplo la caja de Petri, el agar nutritivo, el microscopio, entre otras. La simulación de los ejercicios con estos instrumentos, al ser llevada a la escuela, da la posibilidad de seguir construyendo conocimiento científico y conocimiento científico escolar. Con respecto a esto, el participante P5 realiza un aporte que se puede observar en la figura 18 a continuación (CK2P5).

Figura 18

Digitalización de la séptima respuesta para el cuestionario KPSI final del participante P5

Soy consciente de cómo el conocimiento científico se construye colectivamente					X	sí porque un experimento se construye en equipo	Sí, porque un experimento se construye en equipo
---	--	--	--	--	---	---	--

Nota. Digitalización de la actividad desarrollada en la última sesión del semillero.

En esta unidad de análisis el participante afirmó *saber y poder explicar* que el conocimiento científico se construye de manera colectiva, pues se remitió a la construcción de experimentos mencionando que: “un experimento se construye en equipo” (CK2P5). Esta afirmación está directamente relacionada con las actividades experimentales realizadas en el semillero, las cuales se desarrollaron de manera colaborativa; además, está en conexión con los diferentes relatos históricos presentados durante las diferentes sesiones, en los cuales la construcción colectiva en las comunidades científicas fue protagonista. Uno de los episodios históricos que fueron abordados desde la colaboración científica y el conocimiento colectivo fue el descubrimiento del agar-agar para el cultivo de microorganismos, en el cual fue pionera Fanny Hesse; y la caja de Petri desarrollada por Richard Petri, instrumentos que en conjunto le permitieron a Robert Koch (y permiten hasta el día de hoy) realizar impensados avances en el campo de la microbiología.

Finalmente, se puede decir que las diferentes unidades de análisis pertenecientes a esta categoría muestran que los participantes lograron aplicar conocimientos sobre la microbiología durante la actividad experimental, así como utilizar instrumentos propios de la microbiología y relacionar las prácticas científicas realizadas durante el semillero con el desarrollo histórico de la microbiología.

6.3 Experimentación y desarrollo de competencias: trabajo colaborativo y responsabilidad personal y social

Esta categoría busca identificar el desarrollo de competencias para el siglo XXI por medio de prácticas experimentales desde lo cualitativo exploratorio. Es por esto por lo que los indicios

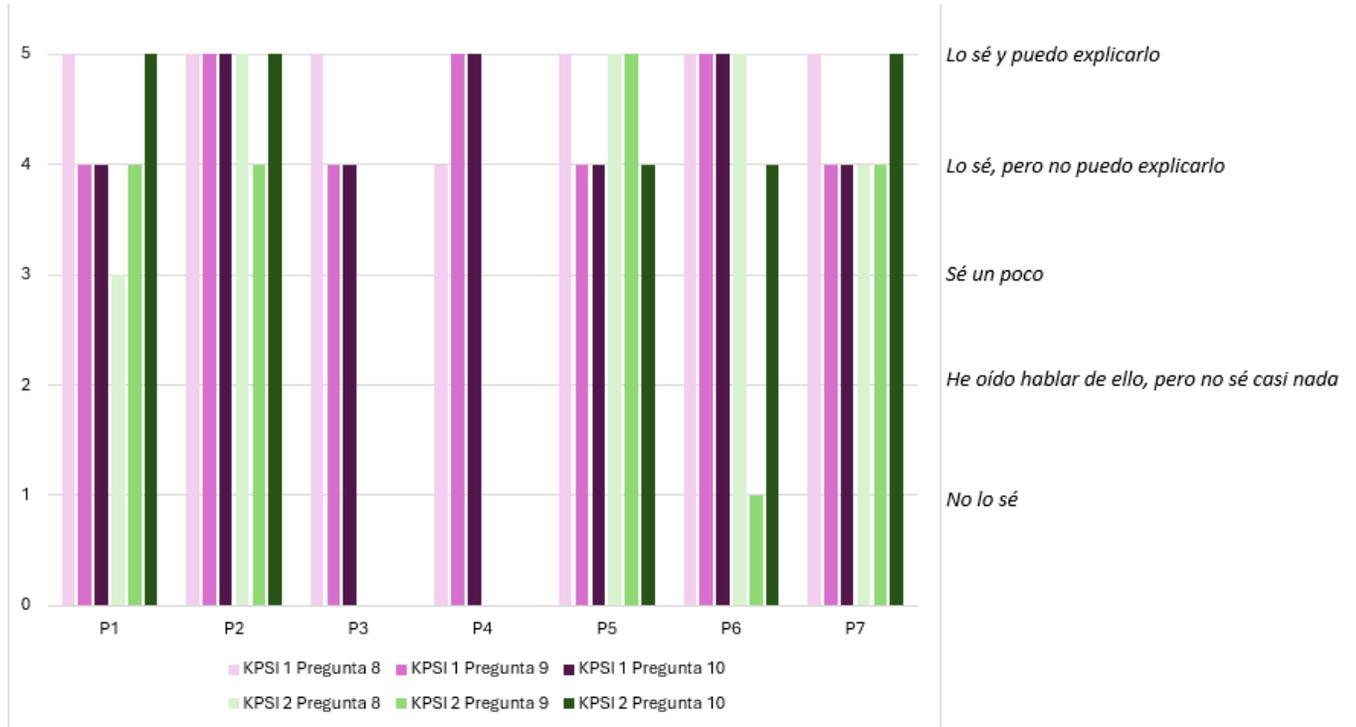
que la acompañan indagaron, según la taxonomía de Bloom, el desarrollo de habilidades complejas en los participantes, así:

- Contrastan perspectivas, mediante el diálogo fruto de la actividad experimental, llegando a conclusiones integradoras.
- Estiman el impacto de sus decisiones en pro del bienestar colectivo.
- Toman decisiones respecto a la microbiología en beneficio del bienestar propio.

Con el fin de analizar los conocimientos de los participantes al empezar y al terminar su participación en el semillero, se llevó a cabo la aplicación del cuestionario KPSI inicial (CK1) y final (CK2). Los tres últimos enunciados de dicho cuestionario fueron: 8, identifico la importancia de trabajar con otros para alcanzar un objetivo en común; 9, reconozco que se hace necesario conocer sobre temas científicos para tomar decisiones informadas; 10, soy consciente de que mis decisiones cotidianas tienen impacto en mi vida y la de los demás. Estos enunciados son aquellos que están directamente conectados con esta categoría de análisis, la figura 19 evidencia las respuestas de los participantes a dichos enunciados tanto para el cuestionario inicial como para el final.

Figura 19

Respuestas a las preguntas de los cuestionarios KPSI inicial y final relacionadas con la categoría



Nota. Se presentan las respuestas a las preguntas 8, 9 y 10 de ambos cuestionarios. En color rosado para el KPSI 1 y en color verde para el KPSI 2.

Al comparar las respuestas de los participantes se puede evidenciar que hubo variaciones respecto a lo que respondieron en el cuestionario inicial y lo que respondieron en el final, siendo aquellas variaciones las que apuntan a saber algo y a saber algo y poder explicarlo, lo cual, denota un avance respecto a la noción y la apropiación de competencias en lo relacionado con la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo. Además, al analizar las respuestas en las que era necesario añadir ejemplos, muy pocos participantes lo hicieron en el cuestionario inicial (CK1), pero más participantes lo pudieron hacer en el cuestionario final (CK2), lo cual, se constituye en avances, puesto que se hace evidente una capacidad para poner en palabras y ejemplificar lo conectado con las competencias antes mencionadas.

En cuanto a este primer instrumento llaman la atención las respuestas del participante 5 presentes en la figura 20, ya que en el primer cuestionario KPSI (CK1P5) en torno a la importancia

de trabajar con otros para alcanzar un objetivo en común, enuncia solo las palabras “cooperación, igualdad”, mientras que en el segundo cuestionario (CK2P5) dice que “en grupo las cosas son más fáciles”, lo cual deja entrever un discurso más completo y estructurado que denota una apropiación conceptual respecto a las habilidades que se relacionan con el trabajo en equipo. Esto a su vez está relacionado con objetivos de aprendizaje no epistémicos propuestos en las secuencias didácticas como: *elaborar estándares de cooperación y colaboración intra- e inter-equipos para participar en indagaciones científicas, intercambiar ideas y planteamientos de indagación, etc.* Esto es relevante ya que, como menciona García-Carmona (2021), la ciencia progresa gracias al trabajo conjunto de personas y de redes científicas. Asimismo, esto se relaciona con el papel de la interacción social dentro de la ciencia como proceso colectivo que se lleva a cabo en las comunidades científicas.

En relación con esto, es importante mencionar que dentro de las prácticas no epistémicas relevantes en la construcción del conocimiento científico y del conocimiento científico escolar, se encuentra una en particular asociada a la cooperación y colaboración científica, pues como lo señala García-Carmona (2021), el progreso de la ciencia es posible debido al trabajo conjunto de personas y de redes científicas, por lo que es poco usual encontrar descubrimientos científicos que puedan ser atribuidos un único científico.

Figura 20

Digitalización de la octava respuesta para el cuestionario KPSI inicial y el cuestionario KPSI final del participante P5

Identifico la importancia de trabajar con otros para alcanzar un objetivo en común				X	COOPERACION IGUALDAD	Cooperación, igualdad
Identifico la importancia de trabajar con otros para alcanzar un objetivo en común				X	en grupo las cosas son mas faciles	En grupo las cosas son más fáciles

Nota. Digitalización de la actividad desarrollada en la primera y en la última sesión del semillero.

Del mismo modo, este participante P5, como se observa en la figura 21, menciona en el primer cuestionario, en la pregunta sobre la necesidad de conocer temas científicos para tomar decisiones bien informadas, tan solo dos palabras “información, conocimiento” (CK1P5), pero no las explica ni hace explícita la relación entre ellas, mientras que en el segundo cuestionario enuncia que “para tomar decisiones hay que estar bien informado” (CK1P5). En esta unidad de análisis también se evidencia un cambio en el discurso que tiene relación directa con la necesidad de estar informado para ser responsable tanto a nivel personal como social, ya que esta competencia está asociada con la “capacidad de tomar decisiones y actuar considerando aquello que favorece el bienestar propio, de otros y del planeta, comprendiendo la profunda conexión que existe entre todos ellos” (Fundación Omar Dengo, 2014, p. 12). Del mismo modo, esto está vinculado con la imagen de ciencia dinámica que propone Adúriz-Bravo (2005), en la que todos, los y las ciudadanas, pueden y deben tomar decisiones responsables en lo referente a cuestiones científicas, tecnológicas y sociales; para lo que es vital estar bien informado, tal y como lo menciona el participante del semillero.

Figura 21

Digitalización de la novena respuesta para el cuestionario KPSI inicial y el cuestionario KPSI final del participante P5

Reconozco la necesidad de conocer temas científicos para tomar decisiones bien informadas.				X	información conocimiento
--	--	--	--	---	-----------------------------

Información,
conocimiento

Reconozco la necesidad de conocer temas científicos para tomar decisiones bien informadas.				X	para tomar decisión es hoy que estar bien informado
--	--	--	--	---	---

Para tomar decisiones
hay que estar bien
informado

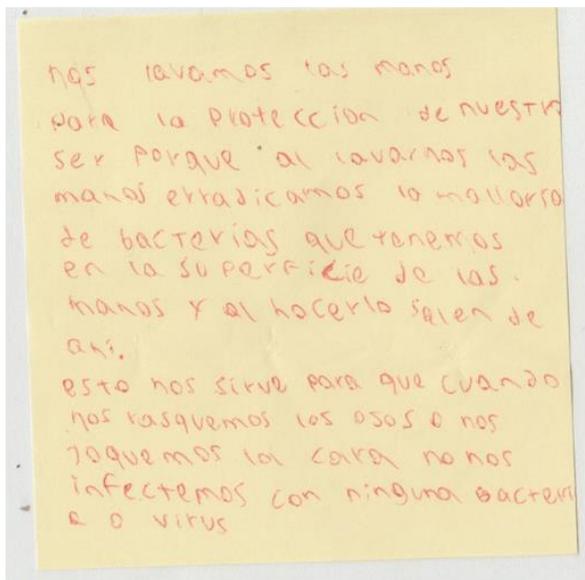
Nota. Digitalización de la actividad desarrollada en la primera y en la última sesión del semillero.

Adicionalmente, las anteriores unidades de análisis están conectadas con la cartelera inicial (CA1) y la cartelera final (CA2) que se hizo con los participantes para responder a la pregunta *¿Por qué nos lavamos las manos?*, ya que contribuyen a una comprensión más profunda de las respuestas

que los participantes dieron en los cuestionarios KPSI, y además tienen relación directa con la responsabilidad personal y social, a la vez que están en concordancia con los indicios 2 y 3 de esta categoría: Estiman el impacto de sus decisiones en pro del bienestar colectivo y toman decisiones respecto a la microbiología en beneficio del bienestar propio. Ante esta pregunta el participante 3 respondió en la cartelera inicial lo que se puede observar en la figura 22 (CA1P3):

Figura 22

Fotografía del aporte del participante P3 a la cartelera inicial



Nos lavamos las manos para la protección de nuestro ser, porque al lavarnos las manos erradicamos la mayoría de las bacterias que tenemos en la superficie de las manos y al hacerlo salen de ahí. Esto nos sirve para que cuando nos rasquemos los ojos o nos toquemos la cara no nos infectemos con alguna bacteria o virus

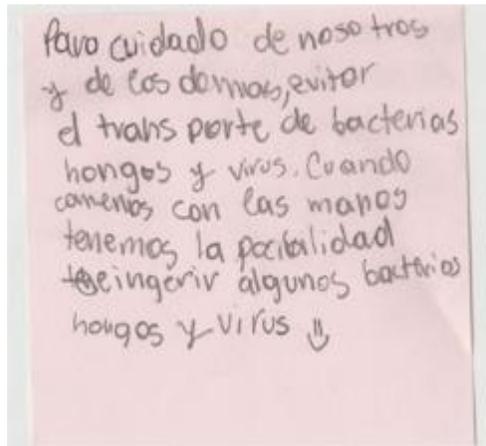
Nota. Fotografía tomada durante la primera sesión del semillero

Lo planteado por el participante está relacionado con la toma de decisiones respecto a la microbiología en beneficio del bienestar propio, que corresponde al indicio 3 de esta categoría, ya que habla del cuidado del propio ser. No obstante, a nivel conceptual también hay ciertas nociones de los microorganismos como algo patógeno, lo cual, se relaciona con lo planteado por Ballesteros et al., (2018) acerca de la noción de “los microorganismos como agentes perjudiciales, presidiendo que la mayoría de los alumnos, señalan que son patógenos y causantes de enfermedades” (p. 88).

En contraste con la respuesta del cuestionario inicial, en el cuestionario final (CA2P3), el participante 3 respondió lo siguiente respecto al lavado de manos (figura 23):

Figura 23

Fotografía del aporte del participante P3 a la cartelera final



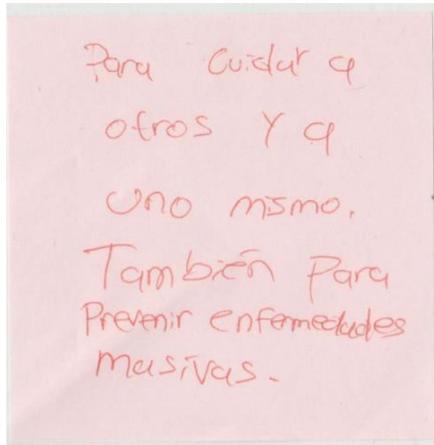
Para cuidado de nosotros y de los demás, evitar el transporte de bacterias, hongos y virus. Cuando comemos con las manos tenemos la posibilidad de ingerir algunas bacterias, hongos y virus.

Nota. Fotografía tomada durante la última sesión del semillero.

Esta respuesta muestra una trascendencia de la responsabilidad personal ya que en la cartelera inicial solo menciona el lavado de manos en torno al cuidado de sí mismo, lo que apunta a la responsabilidad social; pero para la cartelera final menciona también el cuidado de los demás. Del mismo modo, se evidencia mayor riqueza conceptual en torno al reconocimiento de ciertos organismos como los hongos. No obstante, sigue evidenciándose una relación de los microorganismos con lo patógeno y algo de lo cual hay que cuidarse y cuidar a otros, pues incluso el participante 2 (CA2P2) menciona que nos lavamos las manos “para cuidar a otros y a uno mismo. También para prevenir enfermedades masivas”, lo cual se observa en la figura 24.

Figura 24

Fotografía del aporte del participante P2 a la cartelera final



Para cuidar a otros y a uno mismo. También para prevenir enfermedades masivas.

Nota. Fotografía tomada durante la última sesión del semillero.

De este modo, se evidencia que los participantes logran determinar el impacto de sus decisiones en pro del bienestar colectivo, incluso en la cartelera final se evidenció una relación con la responsabilidad social y el equilibrio que debe hallarse entre el bienestar propio y el bien común, lo cual, está relacionado con la definición de responsabilidad personal y social mencionada anteriormente.

Asimismo, es importante traer a colación la siguiente unidad de análisis registrada durante el primer grupo focal (GF1P2) en la que se evidenció la comprensión de las implicaciones sociales del lavado de manos por parte del ya mencionado participante 2:

[Investigadora 2] O sea, que [lavarse las manos] es un acto responsable ¿con quién?

[P1] Con uno mismo, con nuestro cuerpo.

[P2] Y con los que nos rodean.

[Investigadora 2] ¿Y por qué con los que nos rodean?

[P2] Porque, por ejemplo, si nos llevamos un virus podremos contagiar.

[P7] Porque por ejemplo también se puede evitar que, en nuestros alrededores, o sea que digamos, por ejemplo, yo me contamine, toco por ejemplo una pared de mi casa y entonces ya con eso la puedo contaminar y entonces yo viviría alrededor de diferentes enfermedades.

[Investigadora 1] ¿Y qué pasa si alguien más toca esa pared? Por ejemplo, lo que vimos con las muestras...

[P2] Se contagia

[P7] Se puede contagiar

En dicho fragmento se puede evidenciar que los participantes estimaron el impacto de sus decisiones en pro del bienestar colectivo. Dentro de su razonamiento, no se limitaron a abordar los perjuicios de los microorganismos para sí mismos, sino que también estimaron el impacto a la salud para otras personas que tienen los microorganismos. Esto se puede evidenciar también en la siguiente unidad de análisis del grupo focal 1 con el participante 7 (GF1P7):

[Investigadora 2] ¿Ustedes creen que lavarse las manos tiene implicaciones o impacto en la sociedad?

[P7] Porque por ejemplo con lo que pasó con el coronavirus, que varias personas decían que era una mentira, que todo eso, entonces nadie se lavaba las manos. Entonces, en varios países se fueron reduciendo la salud, se fueron reduciendo los cuidados, los cuidados de espacios que se compartían. Entonces, más que todo, en la sociedad es como para cuidarnos entre nosotros.

Se evidencia entonces que el participante retoma el contexto de la pandemia por COVID-19 para orientar su discurso desde las actividades abordadas durante las sesiones, para concluir que el lavado de manos es una acción que realizamos para cuidarnos entre todos. Esto está relacionado con la crítica que realiza Díaz-González (1996) a una enseñanza de la microbiología alejada de la realidad, puesto que es una evidencia de lo necesario que se hace llevar la microbiología al aula de forma contextualizada, para que los participantes puedan reconocer su relación con la vida cotidiana y puedan tomar decisiones informadas respecto a situaciones que involucran a los microorganismos, lo que a su vez está conectado con el desarrollo de la responsabilidad personal y social.

Por otro lado, en cuanto al trabajo colaborativo es relevante retomar el rol de la colaboración científica en la experimentación y en la construcción del conocimiento, como un aspecto no epistémico de gran relevancia que debe hacerse presente en la educación en ciencias si se pretende aprender ciencias haciendo ciencias. En la siguiente unidad de análisis, obtenida en el grupo focal realizado después de la aplicación de la primera secuencia didáctica, se constata la aparición de una idea al respecto por parte del participante 1 (GF2P1):

[Investigadora 2] Ahora chicos en cuanto a lo que hemos hecho, el trabajo con equipos, ¿cómo se han sentido?

[P1] Cuando uno se pone la bata, la máscara, los guantes, uno se siente como si fuera, no sé, un doctor profesional.

[Investigadora 2] Un doctor profesional, un científico profesional ¿y los científicos trabajan solos?

[P2] No

[P1] No, trabajan con equipo.

[Investigadora 2] ¿Y por qué será que los científicos no trabajan solos?

[P2] Para que no solamente haya el pensamiento de uno, sino de varios.

[P7] Porque si uno trabaja solo, uno puede ir más rápido, pero si uno trabaja en equipo, uno puede lograr más... de mejor manera.

[Investigadora 2] Hacerlo mejor, súper.

[P1] Porque es que uno trabajando solo tendría como solamente su opinión. Entonces se podría equivocar en varias cosas y ni cuenta se da. Entonces si uno trabaja en equipo, si uno se equivoca, el otro piensa diferente y está mal el otro lo corrige y al final será bueno. Pues, aunque uno se demore más, igualmente es mejor calidad.

Esto se asocia con los aportes de García-Carmona (2021) respecto al trabajo colaborativo desde la perspectiva de la NOS, y es que los avances científicos pueden darse gracias a la existencia de redes y comunidades científicas que trabajan de manera colaborativa y además comparten su conocimiento. Por lo cual, si se quiere hacer ciencia desde la escuela, teniendo en cuenta los factores no epistémicos, se debe tener en consideración la puesta en práctica de este trabajo colaborativo entre científicos/participantes del semillero. Esto a su vez ayuda a la formación de los participantes en competencias, porque el trabajo en conjunto con otras personas no solo es una habilidad indispensable desde lo científico, sino también para la vida cotidiana.

Continuando con el análisis del trabajo en equipo, y trayendo a colación el indicio 1 de la categoría sobre el contraste de perspectivas mediante el diálogo fruto de la actividad experimental, llegando a conclusiones integradoras; un aporte importante que realiza el participante P1 durante la EF es el siguiente (EFP1):

[Investigadora 2] ¿Te gustaba más cuando tú podías hacer cambios o cuando nosotros te dábamos como todas las instrucciones y tenías que seguirlas al pie de la letra?

[P1] Cuando se trata de hacer experimentos, pues sí, como que, pues seguir al pie de la letra lo que ustedes dicen, porque yo soy una persona muy indecisa, entonces, pues sí.

[Investigadora 2] ¿Pero aun así cuando no había instrucciones al pie de la letra también te gustaba?

[P1] Sí

[Investigadora 2] ¿Y qué hacías con ese sentimiento de indecisión, ¿cómo lidiabas con él?

[P1] Siempre le preguntaba todo a mi pareja.

[Investigadora 2] ¿O sea, que tomaban una decisión conjunta? ¿llegaban los dos como a un acuerdo sobre qué hacer y eso te ayudaba y también te gustaba?

[P1] Sí.

Esta unidad de análisis es importante ya que pone en manifiesto la importancia del diálogo para llegar a consensos durante la actividad experimental, que se realiza en las comunidades científicas. Esto está en concordancia con lo planteado por Ravanal et al. (2009), quien menciona que la educación en ciencias debe brindar un espacio diverso y rico de diálogos, debates, cuestionamientos y posibilidades de cambio y reestructuración de ideas, así como el surgimiento de otras nuevas, algo que solo es posible en conversación con otros donde se construya colectivamente y se llegue a consensos. Sumado a esto, las reflexiones en torno al papel del diálogo dentro de la construcción de conocimiento se relacionan con el hecho de que la inclusión de la NOS en la EC brinda valiosas herramientas de pensamiento y expresión, incluyendo la lógica formal, el intercambio de ideas y la toma de decisiones (Adúriz-Bravo, 2005).

Por último, es importante mencionar que uno de los aspectos que contribuyó a que los participantes pudieran desarrollar las competencias de responsabilidad personal y social, y trabajo colaborativo, fue el espacio mismo del semillero y cómo los hacía sentir, ya que, desde la autonomía, la libertad y la flexibilidad ellos pudieron reflexionar y comprometerse más con su propio proceso, y durante la actividad experimental pudieron conectar con la emoción. Es precisamente eso lo que menciona el participante 7 en la entrevista final (EFP7):

[Investigadora 2] ¿Tú cómo te sentiste al realizar los experimentos?

[P7] Me sentí un poco feliz más que todo. Sí, más que todo feliz porque en clases normales yo no lo puedo hacer, yo no puedo manipular algún experimento, no puedo manipular casi nada de laboratorio, pero con el semillero yo me siento, yo sentí que los experimentos los podría hacer más libres.

[Investigadora 2] ¿Y cuando estás en clase de ciencias y van al laboratorio es diferente?

[P7] Es diferente porque es hacer solo sobre el tema que estamos trabajando, por ejemplo, si estamos trabajando sobre las fases de la mitosis o sobre células, entonces sí o sí tenemos que trabajar sobre las células, hacer alguna investigación.

[Investigadora 2] ¿O sea que el semillero es un poco más qué?

[P7] Es un poco más libre.

La unidad de análisis anterior deja entrever las enormes potencialidades de los semilleros escolares de investigación para el aprendizaje significativo de conceptos científicos y para el desarrollo de competencias para hacerle frente a los desafíos del siglo XXI, ya que desde la libertad y la emoción se pueden lograr aprendizajes más significativos. Igualmente, esto está enlazado con la noción de semilleros de investigación propuesta por Molineros Gallón (2009), en la que estos son presentados como comunidades de aprendizaje y enseñanza que se caracterizan por su origen espontáneo, naturaleza autónoma y dinámica diversa, lo que crea las posibilidades para que se pueda dar una educación participativa enfocada en la pregunta, que permite aprender a aprehender, fortalece la capacidad para trabajar con otros, y promueve una cultura interdisciplinaria que incentiva la capacidad de asombro y la curiosidad respecto al mundo.

De igual manera, lo anteriormente mencionado se constituye en un llamado y una invitación a los docentes de ciencias naturales, a despojarse de la forma usual de enseñar ciencia y abordar la experimentación en las aulas desde la creatividad, la espontaneidad y la libertad; puesto que de esta manera es posible conectar con las emociones de los estudiantes y lograr aprendizajes significativos que les permitan una mayor comprensión del mundo para así transformarlo. Esto está vinculado con la visión holística de ciencia que presenta la NOS, donde se conjugan cuestiones epistémicas, tecnológicas y sociológicas, internas y externas, y se da protagonismo a los aspectos cognitivos y actitudinales presentes en la construcción de conocimiento, como los sentimientos y las emociones que provoca la ciencia (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016). La libertad y la emoción, los temas relacionados con la vida cotidiana, la experimentación desde lo exploratorio y lo cualitativo, y el desarrollo de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo no son asuntos reservados a los espacios extracurriculares como los semilleros escolares de investigación, puesto que con las transformaciones curriculares y didácticas necesarias pueden darse en todos los espacios de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, dentro y fuera del aula.

7. Consideraciones finales y conclusiones

Teniendo en cuenta las experiencias vividas en el semillero de microbiología, la información que se pudo registrar en ese espacio, y las reflexiones y el análisis que surgieron al poner en diálogo esto con la teoría, la HFC y nuestra visión como investigadoras, podemos decir que efectivamente la experimentación cualitativa exploratoria en la EC aporta al desarrollo de la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo; ya que esto se evidenció en la manera en la que los participantes del semillero escolar de microbiología lograron, a partir de la experimentación y el trabajo en equipo, construir conceptos en torno a la microbiología, comprender su desarrollo histórico, recrearla en el laboratorio, y apropiarse de los conocimientos que ella brinda, para desde la relación y el trabajo con otros, tomar decisiones informadas y con sentido crítico en aras de alcanzar el bienestar propio y el colectivo.

Con las secuencias didácticas desarrolladas en el semillero y el análisis de la información registrada, logramos examinar los discursos de los participantes en torno a la experimentación y su relación con la responsabilidad personal y social y el trabajo colaborativo. Esto lo realizamos de una forma sistemática gracias a las diferentes etapas metodológicas tenidas en cuenta, desde el registro hasta la interpretación de la información; encontrando que hubo una evolución notable de los discursos previos de los participantes, en los que se notaba poco conocimiento respecto a la experimentación y las competencias, en contraste con los discursos que se dieron durante y después de dicha aplicación, en los que se evidenció el uso de un lenguaje cercano a la ciencia, más técnico y específico en relación con la microbiología, y una comprensión, apropiación y puesta en práctica tanto de la experimentación con todas sus implicaciones (el manejo de instrumentos y destreza conceptual), como de la responsabilidad personal y social, y el trabajo colaborativo como competencias para el siglo XXI.

En cuanto a la responsabilidad personal y social, evidenciamos que con la experimentación los estudiantes lograron construir conceptos y reflexiones sobre la microbiología que les permitieron ser más conscientes de sus decisiones y acciones, y el impacto de estas en el bienestar personal y social, en temáticas como la desinfección, las enfermedades infecciosas y el papel de los microorganismos en la industria alimentaria y la farmacéutica. En lo referente al trabajo colaborativo, los participantes lograron reconocer su importancia en la toma de decisiones durante la actividad experimental, y comprendieron que la ciencia no se construye ni desde cero ni en

soledad; por el contrario, la construcción del conocimiento se logra a partir del trabajo en equipo en las comunidades científicas, y de los consensos y disensos a los que se puede llegar.

Además de esto, pudimos reflexionar sobre los discursos de los participantes acerca de la ciencia, la HFC y lo que constituye para ellos un espacio como el semillero. Con lo ya mencionado, se reafirman algunos presupuestos discutidos en apartados anteriores, en particular aquellos asociados a las bondades de la HFC y la NOS en la EC, ya que no se hubiera podido llegar a estas reflexiones sin la inclusión de la historia y la filosofía en el semillero de microbiología, puesto que ellas dotaron de sentido la experimentación y nos permitieron pensar en actividades con el enfoque de la experimentación cualitativa exploratoria, que acercaran a los estudiantes tanto a la microbiología como a su historia; incluso, los estudiantes mismos mencionaron que en el laboratorio se sentían como recreando aspectos históricos de la microbiología que abordaban previamente.

De esta manera, los estudiantes pudieron comprender que los conocimientos que hay en torno a la microbiología, y en general los que constituyen cualquier ciencia, no son inamovibles ni están dados per se, si no que se construyen a través del tiempo de una manera que no es lineal y donde el ensayo y el error que ellos mismos experimentaron, se constituye en un foco para el aprendizaje y la construcción de conceptos y nuevas perspectivas teóricas. Inclusive, la integración de la NOS en este proyecto de EC, nos permitió vislumbrar cuán valiosa es la vinculación de la NOS con la tradición CTS-EC, puesto que desde una visión integral pudimos abordar aspectos como la manera en que se genera conocimiento científico, los procedimientos para su validación, los valores inherentes a la práctica científica, la interacción con la tecnología, la dinámica de la comunidad científica, así como las contribuciones de la ciencia al desarrollo cultural y social. Esto nos permitió conectar con los estudiantes desde aspectos cognitivos y actitudinales en la construcción del conocimiento, sin olvidar los sentimientos y emociones que la ciencia puede evocar.

Adicionalmente, pudimos notar que gracias a la experimentación y al trabajo en el laboratorio, la visión de la microbiología que tenían los participantes se amplió y se transformó, ya que de forma vivencial pudieron ver esta ciencia más allá del microscopio, identificar y aprender a manejar diferentes técnicas e instrumentos como los medios de cultivo, y reconocer que los microorganismos no solo están asociados con las enfermedades y lo negativo, pues estos aunque invisibles a simple vista están en todos lados.

Por otro lado, el semillero mismo y la autonomía, la espontaneidad y la flexibilidad innata a este tipo de espacios cobró gran relevancia en el discurso de los estudiantes, ya que lo reconocieron como un espacio diferente al aula regular y a las clases comunes de ciencias naturales, y lo destacaron como un espacio donde se sentían más libres. Esto tuvo gran influencia en el rol que los estudiantes tomaron, puesto que les permitió una participación más activa y el empoderamiento. Del mismo modo, a partir de la fortaleza conceptual y la destreza que fueron alcanzando en la manipulación de los instrumentos, los participantes se fueron sintiendo más libres y dueños de su propio trabajo en el laboratorio, y fueron realizando variaciones propias de la experimentación cualitativa exploratoria. Incluso, la ruptura del modelo de práctica de laboratorio como una guía con pasos a seguir o un recetario, influyó en la concepción de científicos que ellos tenían, ya que como manifestaron, al poder tomar decisiones y al usar todos los instrumentos del laboratorio se sentían ellos mismos como científicos y científicas. Esto reafirma las potencialidades del enfoque didáctico basado en prácticas científicas, con un énfasis en la experimentación para la comprensión de la vida microscópica y la transformación de la noción de ciencia.

Con relación a los aportes de la experimentación cualitativa exploratoria al desarrollo de competencias para el siglo XXI, pudimos constatar que la actividad experimental les dio a los estudiantes las bases teóricas y conceptuales en torno a la microbiología, para fundamentar ciertas decisiones de la vida diaria como el lavado de manos y tomar postura por ejemplo en torno a la vacunación, lo cual, está relacionado directamente con la responsabilidad personal y social. Como se mencionó anteriormente, la experimentación permitió recrear el trabajo realizado en las comunidades científicas, comprender el rol protagónico que tiene cada uno en la construcción del conocimiento y concebir la ciencia como algo social y que se desarrolla a partir de la co-construcción reflexiva, lo cual, está en estrecha conexión con el trabajo colaborativo. No obstante, consideramos que es importante tener en cuenta que el trabajo colaborativo no solo es una competencia del siglo XXI, sino que también se ha constituido a lo largo de los años como una metodología activa que ha cobrado gran relevancia en el campo de la didáctica y que puede abordarse aún con más complejidad para así dotarlo de más sentido. Queda entonces la puerta abierta para investigaciones que aborden el trabajo colaborativo desde las competencias, pero además como una metodología en sí misma, desde la visión de la HFC.

Sumado a lo anterior, consideramos importante mencionar que la relación entre la experimentación cualitativa exploratoria y el desarrollo de competencias, estuvo mediada en este

caso por la microbiología como campo disciplinar a abordar y fue ella la que de forma transversal nos permitió la consecución de los objetivos. Esto debido a que la historia y el desarrollo de la microbiología está permeado por instrumentos, técnicas y procesos que denotan la experimentación cualitativa exploratoria y que, a su vez, brindan la ventaja de que se pueden replicar a su manera en el laboratorio escolar. Incluso, el aprendizaje de la microbiología permite tomar decisiones en torno a aspectos que atañen a la salud y al bienestar, por lo que se relaciona en sí misma con la responsabilidad personal y social.

Con respecto a las consideraciones pedagógicas de la propuesta, creemos importante resaltar cómo desde el proyecto de investigación y la propuesta didáctica derivada de él, logramos vislumbrar la experimentación cualitativa exploratoria en la biología, específicamente en la microbiología, lo que cobra gran relevancia porque muchas de las investigaciones y reflexiones respecto a este enfoque de investigación apuntan a otros campos disciplinares como la física. Por otra parte, una de las dificultades que se reafirma en la inclusión de la NOS en la EC es la falta de material didáctico para abordarla, por lo que las secuencias didácticas que realizamos en la investigación se pueden constituir en un insumo valioso para que otros docentes puedan llevar la microbiología a diferentes espacios. Otro punto por resaltar es que muchas de las investigaciones que se encuentran sobre semilleros de investigación en ciencias pertenecen al campo de la educación superior, por eso, la presente propuesta es relevante para enfocar la reflexión en los espacios de formación que se dan en el entorno escolar.

Adicional a esto, queremos mencionar que uno de los grandes retos que tuvimos al realizar el proyecto de investigación fue transformar la propia visión sobre la NOS, en particular el papel de la experimentación que estaba muy ligada al trabajo en el laboratorio a partir de guías, directrices y cálculos estipulados, ya que nuestra formación tanto escolar como universitaria estuvo encerrada en esta perspectiva. Esta transformación fue relevante, ya que nos permitió abrir mucho más nuestro panorama respecto a la complejidad de los procesos científicos desde los aspectos epistémicos y no epistémicos ligados a la NOS; y es que la ciencia no deja de ser un constructo humano, y como tal, está permeado por aspectos culturales, sociales, políticos, de género, entre muchos otros, aspectos importantes para darnos cuenta de que la ciencia y los científicos son tan humanos como nosotros, y que todos y todas podemos hacer ciencia, y que estos acercamientos empiezan por la ciencia escolar.

Por otro lado, esta transformación influyó en nuestra formación como licenciadas en ciencias naturales, ya que nos brindó herramientas desde la experimentación, para llevar al aula una ciencia compleja y rigurosa, pero a la vez cercana y realista, que permita a los estudiantes acercarse a ella, no necesariamente para convertirse en científicos, sino para poder tomar decisiones informadas en un mundo en el que la alfabetización científica es necesaria para el cuidado de sí mismos y de los demás. El lograr llevar a los espacios educativos una noción de ciencia y de experimentación diferente a la tradicional, es una meta en nuestra labor docente y creemos que no sería posible sin las reflexiones a las que pudimos llegar gracias a la NOS y la HFC.

Cabe resaltar que estas reflexiones se dieron en el marco de la línea de investigación de Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias, dentro de la cual se nos fueron brindadas herramientas para crecer como maestras e investigadoras. Es por esta posibilidad que se nos brindó de nutrirnos de la línea de investigación, que buscamos que este fuera un proceso en ambas direcciones, en el que, con nuestro trabajo, pudiéramos aportar también a la línea y sus reflexiones. Estos aportes los realizamos desde lo que se ha mencionado con anterioridad en este mismo apartado, respecto a las particularidades de la propuesta pedagógica y de un trabajo desde la biología, en particular la microbiología, disciplina poco explorada desde la experimentación cualitativa exploratoria en el campo de la enseñanza. Adicionalmente, consideramos nuestra propuesta relevante para la línea de investigación, ya que logramos relacionar planteamientos como los de Steinle, que están asociados a la HFC, con la didáctica de las ciencias y su enseñanza, mediante un proceso de recontextualización; además, ya que incluimos en las reflexiones acerca de la NOS aspectos epistémicos, no epistémicos, sociológicos, culturales, actitudinales y emocionales de actividad científica.

Finalmente, pensamos que es importante mencionar que, durante la elaboración de este proyecto, fueron emergiendo asuntos potenciales para investigar que no habíamos considerado antes, y que nos muestran que esta propuesta puede trascender a otros campos, como es el caso de las investigaciones que pueden derivarse de la conjunción entre la experimentación cualitativa exploratoria con las emociones en el aprendizaje de las ciencias, ya que los estudiantes, así como nosotras, manifestaron sentirse felices y libres en el laboratorio, lo cual, nos muestra que aprender ciencia haciendo ciencia sí es posible con creatividad y felicidad. Ampliar un poco más esta idea y ponerla en términos de líneas de profundización, podría ser una lista de posibles preguntas y cuestionamientos futuros.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A., y García-Carmona, A. (2016). "Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado". Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.02
- Adrien Emmanuel, M. (1885). *Louis Pasteur in his laboratory, looking through a microscope*. Wellcome Collection. <https://wellcomecollection.org/works/dpa3xkqp>
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de las ciencias: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires, Argentina: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A., Quintero, G. C. A., Pujalte, A. P., y Alzate, Ó. E. T. (2023). Concepciones de enseñanza sobre la naturaleza de la ciencia: obstáculos epistemológicos que aparecen en el profesorado de ciencias. *Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática*, e023004-e023004.
<https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/revin/article/view/872>.
- Aguirre Quintero, C. (2020). *Las fallas de la escuela tradicional: el aburrimiento escolar desde la mirada de las estudiantes del Colegio el Carmen Teresiano* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79926>
- Álvarez Lires, M., Arias Correa, A., Pérez Rodríguez, U., y Serallé Marzoa, J. (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(1), 213-233.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.622>
- Amelines, P. A., y Romero Chacón, A. E. (2014, 17-19 de noviembre). *Análisis de una propuesta pedagógica sobre el papel de la experimentación fundamentada en reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias* [Comunicación oral]. III Conferencia Latinoamericana del International, History and Philosophy Of Science Teaching Group Ihpst, Santiago de Chile, Chile.
<https://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2015/05/AMELINES-Y-ROMERO-CO58.pdf>

- Anderson, L. W., y Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: complete edition*. Addison Wesley Longman, Inc.
- Arango Benítez, P. A. (2020). *Semillero de investigación y desarrollo de competencias investigativas. Un proyecto sobre la Syzygium malaccense-pomarrosa* [Tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional] Repositorio Universidad Pedagógica Nacional.
<http://hdl.handle.net/20.500.12209/13199>
- Arday, L., Pasadas, S., y Ruiz, J. (2004). La triangulación metodológica en el ámbito de la investigación social: dos ejemplos de uso. *Instituto de Estudios Sociales de Andalucía (IESA/CSIC), Departamento de Estudios Telefónicos*.
- Avendaño, M., Camacho, Y., Caro, S., Consuegra, E., Gerds, O., Gutiérrez, M. J., Hunseler, V., Jiménez, M., Martínez, K., Moreno, M. C., Torres, M. A., Oyola, L., Padilla, C., Puello, M. J., Tapias, L., Burbano, I., y López Rivero, A. (2020). *La historia de la microbiología como una herramienta estratégica de articulación curricular*. En J. D. Sánchez Calderón, A. Álvarez Aldana, O. M. Henao Trujillo, L. Carranza López, y A. Abreu Salamanca (Eds.), *MENTE joven, Vol 9 - 2020* (págs. 45-56).
- Ballesteros, M. I., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. R. (2018). Los microorganismos en la educación primaria. Ideas de los alumnos de 8 a 11 años e influencia de los libros de texto. *Enseñanza de las ciencias, 36*(1), 79-98.
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/335275>.
- Bolívar, A. (2007). *Diseñar y evaluar por competencias en la Universidad: El EEES como reto*. Colección Formación e Innovación Educativa na Universidade. Vicerreitoría de Formación e Innovación Educativa, Universidade de Vigo.
<https://www.researchgate.net/publication/282905271>
- Bonilla Ramirez, M. L. (2022). *Programa semilleros científicos para el fortalecimiento de competencias del Área Ciencia y Tecnología en la Institución Educativa Illathupa, Huánuco 2021* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
<https://hdl.handle.net/20.500.13080/7623>
- Cárdenas, E. A. (2018). *Semilleros de investigación: apuestas por la investigación en la escuela y la constitución de subjetividades políticas* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad

Javeriana] Repositorio Pontificia Universidad Javeriana.

<https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.35057>

Carrillo Suárez, L. F. (2020). *Fortalecimiento de la competencia argumentativa con prácticas de laboratorio de microbiología: el caso de la eliminación de hongos con nanopartículas de plata* [Maestría en Enseñanza de las Ciencias, Universidad Autónoma de Manizales].

Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*, 3(25). <https://doi.org/10.17227/01224328.1388>

Castro Sánchez, A., y Ramírez Gómez, R. (2013). Enseñanza de las ciencias naturales para el desarrollo de competencias científicas. *Amazonia Investiga*, 2(3), 30-53.

<https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/646>

Cázares, R. (2008). El enfoque por competencias en educación. *Revista Ide@s CONCYTEG*, 3(39), 53-64. <https://www.researchgate.net/publication/342673291>

Cerda, H. (1993). *Los elementos de la investigación: cómo reconocerlos, diseñarlos y construirlos* (2ª ed.). Editorial el Búho.

Chamizo, J. A., y Pérez, Y. (2017). Sobre la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Iberoamericana de Educação*, 74(1), 23-40. <https://doi.org/10.35362/rie741624>

Christison, C. (2013). The Benefits of Participating in Extracurricular Activities. *BU Journal of Graduate Studies in Education*, 5(2), 17-20. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1230758>

Colegio San Ignacio. (2020). Plataforma estratégica.

<https://www.sanignacio.edu.co/institucional/corporativo>

Colegio San Ignacio. (2023). Plan Integrado de Área de Ciencias Naturales [Documento institucional].

Diéguez, A. (2011). ¿Qué es la filosofía de la biología? *Encuentros en Biología*, 4(132), 3-5.

<https://webpersonal.uma.es/~DIEGUEZ/hipervpdf/FILOSOFIABIOLOGIA.pdf>

Fernández Carballo, R. (2001). La entrevista en la investigación cualitativa. *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/8017/11775>

- Ferreirós, J., y Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación (Towards a Philosophy of Experiment). *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34(101), 47-86. <https://www.jstor.org/stable/40104539>
- Fundación Omar Dengo. (2014). *Competencias del Siglo XXI*.
https://www.viaeducacion.org/downloads/ap/ehd/competencias_siglo_xxi.pdf
- Gaitán, J. A., y Piñuel, J. L. (1998). *Técnicas de investigación en comunicación social. Elaboración y registro de datos*. Editorial Síntesis.
- Galindo Suarez, W. S. (2022). *Semilleros de investigación escolar como estrategia pedagógica en el aprendizaje de las ciencias naturales. Caso: Institución Educativa de Fredonia, Cartagena Bolívar* [Tesis doctoral, Universidad de Cartagena].
<http://dx.doi.org/10.57799/11227/30>
- Gallardo Cerón, B. N. (2014). *Sentidos y perspectivas sobre semilleros de investigación colombianos, hacia la lectura de una experiencia latinoamericana* [Tesis de doctorado, Universidad de Manizales-CINDE] Repositorio Fundación CINDE
<http://hdl.handle.net/20.500.11907/476>.
- García Arteaga, E. G., y Morcillo Molina, C. (2017). *Actividad histórico-experimental en microbiología para la enseñanza de las ciencias*. La experimentación en la clase de ciencias, 79-98. Editorial Universidad de Antioquia.
- García Viviecas, A. X., y Moreno Sacristán, Y. A. (2020). La experimentación en las ciencias naturales y su importancia en la formación de los estudiantes de básica primaria. *Bio-grafía*, 13(24). <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.12.num24-10361>
- García-Carmona, A. (2021). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1108. <https://orcid.org/0000-0001-5952-0340>
- Gonzaga Martínez del Campo, L. (2016). *Más allá de la calificación. Instrumentos para evaluar el aprendizaje* [Tesis doctoral, Universidad de Concepción].
<https://www.researchgate.net/publication/329759741>
- González Ávila, M. (2002). Aspectos éticos de la investigación cualitativa. *Revista Iberoamericana de Educación*, 29, 85-103.
<https://www.redalyc.org/pdf/800/80002905.pdf>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). México: McGraw-Hill.
- Hesse, W., y Gröschel, D. H. M. (1992). Walther and Angelina Hesse-early contributors to bacteriology. *ASM news*, 58(8), 425-428. <https://webs.uab.cat/workshopmrama/wp-content/uploads/sites/312/2011/06/Hesse.pdf>
- Hoyos Botero, C. (2000). *Un modelo para investigación documental: guía teórico-práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación*. Señal editora.
- Izquierdo Aymerich, M., García Martínez, A., Quintanilla Gatica, M., y Adúriz Bravo, A. (2016). Historia y Filosofía de la Ciencia en la Investigación Didáctica. En Santos Alcántara, M., Solis, M. C., Solar Besmanilovic, H., Cuellar Fernández, L., y Astroza Ibañez, V. (Eds.), *Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias* (pp. 13-40). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Izquierdo, M., Espinet Blanch, M., Bonil, J., y Pujol Villalonga, R. M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación En La Escuela*, (53), 21–29. <https://revistascientificas.us.es/index.php/IE/article/view/7530>
- Jakavonytė-Staškuvienė, D., y Ponomariovienė, J. (2023). Competency-based practice in conducting natural science research and presenting its results in primary classes: A case study. *Cogent Education*, 10(2), 2267962. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2267962>
- Jiménez Jiménez, L., y Loaiza Sierra, J. (2019). *Semillero de investigación como estrategia pedagógica para fortalecer la competencia de indagación en el área de ciencias naturales* [Tesis de maestría, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6010>
- Keddie, A. (2011). *Educating for Diversity and Social Justice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203127889>
- Latour, B. (1995 a). *La vida en el laboratorio: La construcción de los hechos científicos*. Alianza Universidad. Madrid.
- Latour, B. (1995 b). *Pasteur: una ciencia, un estilo, un siglo*. Siglo XXI Editores.

- López Luengo, M. A., Paños, E., y Ruiz Gallardo, J. R. (2023). El alumnado de educación infantil ya sabe lo que es un virus. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 41(2). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5691>
- López Rúa, A. M., y Tamayo Alzate, Ó. E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1), 145-166. <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134129256008.pdf>
- Macedo, B. (2016). Educación científica. *LILAC Foro Abierto de Ciencias Latinoamérica y el Caribe*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246427>
- Martínez, M. (2006). Validez y confiabilidad en la metodología cualitativa. *Paradigma*, 27(2), 7-33. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512006000200002&lng=es&tlng=es
- Matthews, M. R. (1994). Historia, Filosofía de las Ciencias. La aproximación actual. *Revista enseñanza de las Ciencias*. N° 12(2), pp. 255-277. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21364>.
- Meydan, E. (2022). Science Learning Skills of Science and Mathematics Education Students. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 14(3), 2490-2504. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1364584>
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2015). *Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales*. <https://www.colombiaaprende.edu.co/contenidos/coleccion/derechos-basicos-de-aprendizaje>
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Estándares Básicos de Competencias Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanía*. https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf
- Molineros Gallón, L. F. (2009). Epistemología de los Semilleros de Investigación y la Cultura en Red de la RedCOLSI: Una Visión Compartida desde la Experiencia de uno de sus Actores. En Molineros Gallón, L. F. (Ed.), *Orígenes y dinámica de los semilleros de investigación en Colombia: La Visión de los Fundadores* (pp. 117-145). <https://www.researchgate.net/publication/373683200>
- Montero, I., y León, O. (2002). Clasificación y descripción de las metodologías de investigación en psicología. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2, 505-510 https://www.aepc.es/ijchp/articulos_pdf/ijchp-53.pdf

- Morcillo Molina, C. (2015). La experimentación en la enseñanza de las ciencias para docentes en formación inicial: un caso en microbiología. Una mirada desde la historia de las Ciencias. [Trabajo de grado de pregrado, Universidad del Valle] Repositorio Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/9496>
- Nussbaum, M. C. (2010). *Sin fines de lucro. Por qué la democracia necesita de las humanidades*. Katz editores.
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1), 1-42. <https://www.researchgate.net/publication/267797356>
- Puerto Sánchez, L. C. (2016). *Pedagogía desarrollo de competencias investigativas mediante la creación y organización del semillero de investigación en ciencias naturales y educación ambiental "Akuaippa" en los estudiantes de la Institución Educativa Escuela Normal Superior de San Mateo - Boyacá*. [Tesis de especialización, Universidad Pedagógica Nacional] Repositorio Universidad Pedagógica Nacional. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/524/TO-19967.pdf?sequence=1>
- Ravanal, E., Joglar, C., Quintanilla, M. y Labarrere, A. (2009). *Noción sobre enseñanza de las ciencias en profesores de biología en activo y sus implicancias en el desarrollo de competencias de pensamiento científico*. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, Brasil.
- Romero Chacón, Á., Aguilar Mosquera, Y., y Mejía, L. S. (2016). Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación. *CPU-e. Revista de Investigación Educativa*, (23), 75-98. <https://www.redalyc.org/pdf/2831/283146484005.pdf>
- Ruiz Molina, M. M., Cardona López, C. J., y Romero Chacón, Á. E. (2021). La experimentación cualitativa exploratoria y la construcción social de conocimiento [Memorias del congreso]. IX Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias, Bogotá, Colombia. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15594>
- Saki, O., y Darhour, H. (2023). The Effects of Extracurricular Activities on Developing Students' Life Skills. *International Journal of Language and Literary Studies*, 5(3), 213-227. <https://doi.org/10.36892/ijlls.v5i3.1413>
- Sandoval Casilimas, C. (2002). *Investigación cualitativa*. ARFO Editores e Impresores Ltda.

- Shama, G. (2019). The "Petri" Dish: A Case of Simultaneous Invention in Bacteriology. *Endeavour*, 43(1-2), 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2019.04.001>
- Silveira Donaduzzi, D. S., Colomé Beck, C. L., Heck Weiller, T., Nunes da Silva Fernandes, M., y Viero, V. (2015). Grupo focal y análisis de contenido en investigación cualitativa. *Index de Enfermería*, 24(1-2), 71-75. <https://dx.doi.org/10.4321/S1132-12962015000100016>
- Stake, R. E. (1999). *Investigación con estudios de caso*. Segunda Edición. Ediciones Morata. S. L.
- Steinle, F. (1997). Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation. *Philosophy of Science*, 64, S65 - S74. doi:10.1086/392587 <https://www.jstor.org/stable/188390>
- Steinle, F. (2002). *Experiments in History and Philosophy of Science*. Max Planck Institute for the History of Science, Berlin. <https://direct.mit.edu/posc/article-abstract/10/4/408/15128/Experiments-in-History-and-Philosophy-of-Science?redirectedFrom=fulltext>
- Steinle, F. (2003). ¿Experimentos románticos? El caso de la electricidad. *Ciencia y Romanticismo* (pp. 208-227). Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. https://fundacionorotava.org/media/web/files/page146_III_3_SR2002_web.pdf
- Van Leeuwenhoek. (2024). En *Wikipedia* https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anton_van_Leeuwenhoek&oldid=159733909#Enlaces_externos

8. Anexos

Anexo 1

Formato cuestionario KPSI

INFORME PERSONAL KPSI

Semillero escolar “EXPLORANDO EL MICROMUNDO”

Utilizando las siguientes categorías, marca con una X el recuadro que mejor te represente en cada planteamiento.

1. No lo sé	2. He oído hablar de ello, pero no sé casi nada	3. Sé un poco	4. Lo sé, pero no puedo explicarlo	5. Lo sé y puedo explicarlo
-------------	---	---------------	------------------------------------	-----------------------------

Planteamiento	1	2	3	4	5
Conozco los diferentes tipos de microorganismos que existen					
Identifico microorganismos asociados a algunas enfermedades					
Reconozco algunos microorganismos que pueden ser beneficiosos para el ser humano					
Distingo algunos instrumentos utilizados en la experimentación en microbiología					
Reconozco que cada desarrollo científico en la microbiología está determinado por un contexto histórico					
Doy cuenta de las diferentes maneras de experimentar y construir conocimiento científico					

Soy consciente de cómo el conocimiento científico se construye colectivamente					
Identifico la importancia de trabajar con otros para alcanzar un objetivo en común					
Reconozco que se hace necesario conocer sobre temas científicos para tomar decisiones informadas					
Soy consciente de que mis decisiones cotidianas tienen impacto en mi vida y la de los demás					

Anexo 2

Primera secuencia didáctica

Título de la secuencia:	¿Por qué nos lavamos las manos?		
Autores:	Cruz Ximena Arredondo – Mariana Uribe Correa		
Grado	Fecha	Tiempo estimado	Recursos
6to	14 de septiembre al 3 de octubre	7 horas y 30 minutos	Microscopio Lupas Cajas de Petri Agar agar Papel y lápiz
Objetivos de aprendizaje	Epistémicos: <ul style="list-style-type: none"> • Comprender la existencia de diferentes tipos de microorganismos y su impacto en la salud humana, a través de la experimentación. • Relacionar los microorganismos y su impacto con decisiones de la vida cotidiana. 		
	No Epistémicos: Asociados a la cooperación y colaboración científico. <ul style="list-style-type: none"> - <i>Organizar y repartir las distintas tareas de planificación y ejecución de una indagación científica escolar asignando roles a los diferentes miembros del equipo de trabajo.</i> - <i>Establecer colectivamente reflexiones durante las indagaciones científicas escolares que involucren los prejuicios e implicaciones de microorganismos, así como respecto al manejo de material de laboratorio.</i> 		
Recontextualización de saberes			
A la hora de abordar temáticas de la Historia y Filosofía de las ciencias, es necesario tener en cuenta que se debe hacer desde la recontextualización. Una recontextualización que permita			

tanto a docentes como a estudiantes acercar/acercarse al conocimiento científico desde el aula. Para este proceso pueden ser utilizados diversidad de recursos: películas, documentales, narraciones, cuentos, fragmentos de libros, entre otros, siempre teniendo en cuenta aspectos tanto de contenido como de forma. Los aspectos de contenido se refieren a la rigurosidad histórica de los hechos mostrados. Los aspectos de forma tienen que ver con el uso de imágenes, videos o animaciones y con el modo de presentar la información.

En el caso de la presente unidad didáctica se abordan situaciones históricas del desarrollo de la microbiología así:

- El descubrimiento del Agar nutritivo para el cultivo de microorganismos y el desarrollo de la caja de Petri: como primer recurso para la recontextualización se lleva un video informativo de TikTok, en el que se muestran, de manera dinámica, avances que llevaron a ser posible la caja de Petri tal como la conocemos. En segundo lugar, se realiza una presentación teniendo en cuenta información de un [artículo](#) recontextualizada, esto es, con información resumida, utilizando un lenguaje amigable con los estudiantes y presentando imágenes ilustrativas.
- Fiebre puerperal y la importancia del lavado de manos: la recontextualización de esta pieza histórica se hace con la presentación de un video documental de National Geographic. En él que se muestra la mortalidad de la fiebre y los hallazgos de Ignaz Semmelweis con respecto a la microbiología. Se elige el documental por su manejo amigable de información científica precisa, el uso de imágenes, videos y animaciones que ayudan a ilustrar la situación.
- Historia del microscopio: para la recontextualización se utiliza un video documental acerca de la invención del microscopio, su historia y línea temporal. Se escoge por su uso adecuado del lenguaje científico, el uso de imágenes y videos y también porque hace referencia a las diferentes personas que hicieron posible este hallazgo.

Descripción de las actividades

La presente secuencia didáctica está dividida en 4 etapas o 4 sesiones de 1 hora 30 minutos cada una, todas ellas realizadas en días diferentes.

Sesión 1.

Se comenzará haciendo una introducción al semillero y, los objetivos de este. Además, se conversará con los participantes sobre sus expectativas y lo que les gustaría hacer y aprender.

Después, se les mostrará una cartelera con la pregunta: ¿Por qué nos lavamos las manos?, la cual, responderán según sus saberes y vivencias. En un lado de la cartelera los estudiantes pegarán unos post-it con su respuesta y, en el otro lado, pegarán las diferentes respuestas que surjan una vez terminada la unidad didáctica. Además, se conversará sobre estas respuestas y reflexiones tanto en esta sesión como en la última.

Posteriormente, se jugará un [bingo](#) para que los participantes puedan conocerse más, identificar los gustos y habilidades propias y de los otros y, reconocer para qué son buenos y qué rol les gusta desempeñar en un equipo. Para esto, a cada participante se le dará un cuadro con 6 casillas, en cada una de ellas estarán los siguientes enunciados por completar:

- Me considero bueno/a en...
- Mi materia favorita es...
- Me gusta ser el/la _____ en mi equipo
- Lo que más me gusta de las ciencias es...
- Quiero aprender sobre...
- Un dato curioso sobre mí es...

Cuando cada uno de los participantes haya completado su bingo tendrán la posibilidad de leer sus respuestas y anotar el nombre de la persona con quien coinciden en esa respuesta, esto para que puedan establecer conexiones entre sí y reconocer a las personas con las cuales podrían formar un equipo. De hecho, con base en esos puntos en común se formarán los equipos de trabajo para esta unidad didáctica.

Luego de esto, a cada grupo se le darán los siguientes materiales: plato, agua, pimienta, jabón y aceite. Con estos materiales los equipos pensarán en qué experimento o demostración pueden realizar para dar soporte a las respuestas de la actividad inicial sobre el porqué del lavado de manos. Cuando cada equipo haya terminado socializarán lo que hicieron y el porqué de esto. Los experimentos que los estudiantes podrían hacer podrían estar relacionados con el experimento de [“La pimienta que huye”](#) que está relacionado con la acción del jabón, por lo tanto, finalizada la socialización se retroalimentará la información sobre este experimento.

Para cerrar la sesión se le entregará a cada participante un cuestionario, que será una de las primeras técnicas de recolección de información, cuyo propósito será conocer sus saberes previos sobre los microorganismos, sus implicaciones y la experimentación en ciencias naturales.

Sesión 2.

Para comenzar la sesión, los participantes se reunirán en los equipos conformados en la sesión anterior y, se comenzará con la preparación de medio de cultivo para microorganismos en [agar nutritivo](#). Para esto, se les dirá a los participantes que van a cocinar para unos seres microscópicos que no ven a simple vista y son los microorganismos, y se conversará con ellos sobre qué son los microorganismos, dónde los encontramos, qué nos causan y cómo los podríamos alimentar ya que les vamos a cocinar. Para poder cocinar, a cada equipo se le entregarán unas instrucciones generales, pero serán ellos quienes determinen las cantidades y las variaciones en su receta para observar cómo se comportan los microorganismos y, las anotarán para análisis posteriores.

Una vez preparado el medio de cultivo, se procederá con otras actividades mientras el agar se solidifica. La primera consiste en observar escuchar a los estudiantes sobre sus saberes y percepciones sobre el procedimiento llevado a cabo, luego se observará el siguiente vídeo de [tik tok](#), que cuenta de forma breve cómo se inventó la caja de Petri, esta información se profundizará a partir de imágenes y de la narración oral. En este punto también se retomará la historia del agar y su uso en la microbiología usando imágenes y la narración.

Luego de esto y cuando los medios de cultivo ya estén sólidos se les indicará a los estudiantes cómo rotular las cajas de Petri. La sesión concluirá con la siembra de muestras por parte de cada equipo, en uno de los medios de cultivos los estudiantes simplemente pondrán sus manos para conocer qué hay en ellas y, en otro pueden decidir de dónde tomar la muestra con ayuda de unos hisopos.

Sesiones 3 y 4.

Después de la bienvenida a la sesión del semillero se presentará a los estudiantes [un video](#) acerca de la fiebre puerperal y la importancia del lavado de manos, abordando algunos aspectos de la vida y contribuciones de Ignaz Semmelweis a la microbiología y la medicina. Posteriormente, las docentes realizarán una presentación con imágenes acerca de los aspectos generales de dos tipos de microorganismos: las bacterias y los hongos, además de su potencial patogénico para los humanos y otros seres vivos.

Se retomará la actividad de la siembra de los microorganismos realizada la sesión anterior entregando a cada equipo sus cajas de Petri, y se realizarán las siguientes preguntas:

- ¿Qué crees que observas en las cajas de Petri?

- Si comparas tus resultados con los de otros equipos, ¿en cuál caja de Petri crecieron más microorganismos?
- ¿Por qué crees que existe esta diferencia? ¿Se relaciona con las proporciones de ingredientes utilizados?

Posterior a esta actividad, los estudiantes realizarán una observación macroscópica detallada de los organismos que crezcan en el agar, encontrando semejanzas y diferencias en las colonias observadas y pudiendo así clasificar los microorganismos en hongos o bacterias. Se dejará registro de esta actividad en una guía entregada por las docentes.

Por último, se tendrá una conversación grupal acerca de la clasificación realizada por los equipos y se discutirá la diferencia entre microorganismos individuales y colonias con el fin de comprender mejor lo previamente observado.

Sesiones 5 y 6.

Posterior a la bienvenida a la sesión las docentes presentarán a los estudiantes una serie de materiales dispuestos en los mesones del laboratorio: lupas regulares, lupas entomológicas, y lentes de gafas, los cuales deberán ser usados para observar hilos individuales en diferentes tipos de telas, ajustando la distancia focal entre lupas y lentes; esto con el objetivo de que se acerquen a lo que fue el desarrollo histórico de lo que conocemos ahora como microscopio.

Se presentará a los estudiantes un [video](#) acerca de la historia del microscopio, resaltando la contribución de personajes como Zacarías Janssen y Anton van Leeuwenhoek, posteriormente las docentes hablarán de manera breve sobre las diferentes partes de un microscopio moderno y realizarán montajes en fresco de muestras de algunos microorganismos obtenidos en las cajas de Petri usadas en las sesiones pasadas.

En cada microscopio habrá una especie de microorganismo diferente, por lo que los estudiantes deberán identificar las características de cada uno y clasificar lo observado según sea un hongo o una bacteria. Teniendo esto en cuenta, los estudiantes pasarán a una mesa contigua en la que encontrarán dos estaciones, una de hongos y una de bacterias, ambas con imágenes en alta definición de las especies específicas que observaron con anterioridad en el microscopio. Estas imágenes estarán acompañadas de una descripción de la especie, su modo de contagio y su impacto en la salud.

Los estudiantes escribirán su respuesta a la pregunta guía ¿Por qué nos lavamos las manos? Teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos durante las sesiones. Posterior a ello los

estudiantes compararán esta respuesta con la construida en la primera sesión, para rastrear nuevas perspectivas. Por último, los alumnos discutirán respecto a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué nos lavamos las manos con jabón y no solo con agua?
- ¿Crees que lavarte las manos es un acto responsable? ¿En qué sentido?
- ¿Se puede decir que el lavado de manos tiene implicaciones sociales? ¿Sí, no y por qué?

Evaluación

La propuesta evaluativa se realiza bajo la definición de evaluación formativa. Esta es, según Condemarín et.al (2000), un proceso de realimentación del aprendizaje, que posibilita ajustes en la progresión y adaptación de las actividades planteadas de acuerdo a las necesidades y posibilidades del estudiante, facilitando además el conocer el punto de partida de este para saber hasta dónde puede llegar, por lo cual, se realiza el cuestionario y las actividades iniciales para reconocer saberes previos.

Por su parte Torres (2013) sostiene que la evaluación formativa no debe ser una calificación que se obtiene al final de una clase, sino que debe tener en cuenta todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este caso la propuesta de evaluación formativa integra los aspectos claves de la investigación: el desarrollo de competencias y la apropiación de conceptos microbiológicos por medio de la experimentación.

De esta manera, la propuesta evaluativa comienza desde la primera sesión con la conversación, el cuestionario de conocimientos previos y expectativas, la respuesta a la pregunta guía ¿por qué nos lavamos las manos?, y la conformación de los equipos de trabajo, lo que posibilita trazar un camino a seguir con los estudiantes, tanto como individuos y como equipo. Dicha propuesta continúa en cada una de las sesiones durante las actividades grupales: clasificación, experimentación y discusiones, en las cuales los estudiantes podrán comparar sus resultados como equipo con hallazgos teóricos/históricos y compartir opiniones con los demás grupos. El proceso evaluativo concluye con la discusión respecto a preguntas que permiten la retroalimentación del aprendizaje y la reflexión sobre la responsabilidad tanto personal como social potenciada gracias a las temáticas.

Referentes bibliográficos

Condemarín, M., y Medina, A. (2000). Evaluación auténtica de los aprendizajes: un medio para mejorar las competencias en lenguaje y comunicación. Centro de Educación Preescolar y Especial

Flores, J. (2013). Las placas de Petri, el gran invento de la microbiología. Revista Muy Interesante

Torres, R. (2013). La Evaluación Formativa. Ministerio de Educación Pública. San José, Costa Rica

Castellanos, M. (2013). ¿De dónde viene el agar? Microbiología General UVG.

Frédérique Reverchon. (s.f). La fantástica historia del agar. INECOL, Gobierno de México.

Anexo 3*Segunda secuencia didáctica*

Título de la secuencia:	¿Cómo puedes beneficiarte de los microorganismos?		
Autores:	Cruz Ximena Arredondo – Mariana Uribe Correa		
Grado	Fecha	Tiempo estimado	Recursos
6to	17 al 31 de octubre	6 horas y 15 minutos	Alimentos fermentados Lactobacilos Microscopio Post-it Cartulina Marcadores
Objetivos de aprendizaje	Epistémicos: <ul style="list-style-type: none"> • Analizar los beneficios de los microorganismos en la vida cotidiana, por medio de actividades experimentales. • Proponer alternativas de uso de los microorganismos para el beneficio propio y colectivo 		
	No Epistémicos: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Establecer colectivamente reflexiones durante las indagaciones científicas escolares que involucren los beneficios e importancia de microorganismos, así como respecto al manejo de material de laboratorio.</i> - <i>Elaborar estándares de cooperación y colaboración intra- e inter-equipos para participar en indagaciones científicas, intercambiar ideas y planteamientos de indagación, etc</i> 		
Recontextualización de saberes			
Como se indicó en la previa unidad didáctica, a hora de abordar temáticas de la Historia y Filosofía de las ciencias, es necesario tener en cuenta que se debe hacer desde la recontextualización. Una recontextualización que permita tanto a docentes como a estudiantes			

acercar/acercarse al conocimiento científico desde el aula. Para este proceso pueden ser utilizados diversidad de recursos: películas, documentales, narraciones, cuentos, fragmentos de libros, entre otros, siempre teniendo en cuenta aspectos tanto de contenido como de forma. Los aspectos de contenido se refieren a la rigurosidad histórica de los hechos mostrados. Los aspectos de forma tienen que ver con el uso de imágenes, videos o animaciones y con el modo de narrar.

En el caso de la presente unidad se abordan situaciones históricas del desarrollo de la microbiología así:

- Pasteur y la fermentación: la recontextualización de esta temática se hará por medio de un video de elaboración propia en el que se toquen aspectos epistémicos y no epistémicos de los avances de Louise Pasteur en relación con la fermentación y la importancia de este hallazgo para el mundo de ese entonces y el mundo actual. El video tendrá un tinte narrativo para facilitar enganchar a los estudiantes con su contenido y serán utilizadas imágenes y animaciones de modo ilustrativo.
- Historia de Alexander Fleming y la penicilina: la recontextualización de esta historia se hará a través de infografías realizadas por entidades dedicadas a la divulgación científica como Universum Museum y Pictoline, ya que de esta manera la historia puede presentarse de una manera más sintética para los estudiantes, sin olvidar la rigurosidad que se debe tener al contar estos hechos históricos. Esto se complementará con un vídeo elaborado por la web educativa Edu Boom, que cuenta a través de fotografías e ilustraciones la historia del descubrimiento de la penicilina, con el fin de que puedan acercarse a esta historia a través de diferentes recursos audiovisuales y con un lenguaje simple.

Descripción de las actividades

Sesión 7.

Se iniciará la sesión dando la bienvenida y se propondrá a los estudiantes responder a la pregunta: ¿comerías alimentos que tengan hongos o bacterias? durante una discusión grupal. Posteriormente se les presentarán a los participantes dos grupos de alimentos, el primero consistirá en:

- Yogurt
- Pan de masa madre

- Kombucha
- Vinagre con madre

El segundo consistirá en frutas y pan en descomposición por la acción de hongos como el *Botrytis cinerea* y el *Rhizopus stolonifer*, respectivamente. Posteriormente, se les preguntará a los participantes qué grupo de alimentos les parece más seguro comer y por qué, y se procederá a consumir los pertenecientes al primer grupo mientras se les habla de los microorganismos involucrados en la obtención de estos alimentos.

Por último, se procederá, por grupos de trabajo, a la preparación de yogurt casero, proyectando las instrucciones con imágenes, y a su vez explicando el porqué de cada uno de los ingredientes utilizados y de los procedimientos a realizar.

Sesiones 8 y 9.

Se comenzará la sesión retomando la actividad realizada el encuentro anterior, con cada equipo probando el yogurt preparado y haciendo preguntas como:

- ¿Es diferente el yogurt que preparamos al que compras en la tienda?
- ¿Qué pasaría con las bacterias en el yogurt si lo dejáramos fuera de la nevera por dos días?
- ¿Crees que los microorganismos tienen un ciclo de vida?

Posteriormente se les facilitará a los estudiantes materiales de laboratorio como: Erlenmeyers, bombas, levadura, agua a diferentes temperaturas, azúcar, tubos de ensayo. Se les indicará el realizar un experimento que demuestre cómo afectan las diferentes condiciones a las levaduras, su crecimiento y producción de oxígeno. Una vez finalizada la actividad, cada equipo explicará el experimento realizado y los hallazgos encontrados, como introducción a la temática del metabolismo de los microorganismos.

Por último, se realizará una presentación acerca del metabolismo de hongos y bacterias, relacionándolo con procesos industriales y de producción de alimentos, en concreto la fermentación desde Pasteur.

Sesión 10 y 11

Para comenzar la sesión se llevará el hongo *Penicillium chrysogenum* en diferentes presentaciones, como por ejemplo encima de un limón, en un medio de cultivo de agar nutritivo y como muestra en el microscopio. Los estudiantes observarán esto y pensarán en las

diferencias en cada presentación de acuerdo con lo que saben hasta el momento sobre microbiología.

Posteriormente, les mostrará a los participantes, imágenes de diferentes enfermedades que pueden tratarse con penicilina, por ejemplo, neumonía, sífilis y fiebre escarlata e infecciones de oído, piel, encías, boca y garganta y, se les preguntará qué relación creen que tiene el hongo observado con estas enfermedades. Después, se les preguntará si un hongo los podría salvar y se les dirá que esas patologías se pueden tratar con la penicilina que es un antibiótico que puede obtenerse del hongo observado.

Luego, para que los estudiantes conozcan la historia del descubrimiento de la penicilina por parte de Alexander Fleming, se reunirán con sus equipos de trabajo y a cada uno se le dará una [infografía](#) distinta con esta historia. Esta será también una manera de mostrarles cómo se puede divulgar este tipo de información, lo cual se necesitará en las últimas sesiones. A partir de las infografías y del siguiente [vídeo](#) se conversará con los estudiantes sobre esta historia de la penicilina.

Para finalizar, se les dará a conocer a los participantes la actividad de cierre del semillero, que consiste en que con sus equipos de trabajo piensen en alguna manera de divulgar lo que aprendieron sobre los microorganismos y su importancia, esto puede ser un vídeo, un tik tok, una cartelera, una infografía o lo que ellos desde su creatividad deseen hacer.

Sesión 12

En esta sesión de cierre del semillero los participantes comenzarán reuniéndose con sus equipos de trabajo para hacer y socializar su estrategia de divulgación. Una vez terminada la realización de la estrategia esta se socializará y, de ser posible, se mirará la manera de compartirla con los demás miembros de la comunidad educativa.

Posteriormente, los estudiantes completarán nuevamente el cuestionario KPSI que hicieron a inicio del semillero. Luego, se completará la cartelera que se comenzó a realizar en la sesión 1 de la unidad 1, con post-it para dar respuesta a la pregunta: ¿Por qué nos lavamos las manos? Y con una conversación al respecto y sobre lo aprendido en el semillero se finalizará la sesión.

Evaluación

Se desarrolla la misma propuesta de evaluación que en la secuencia didáctica previa

Referentes bibliográficos

Condemarín, M., y Medina, A. (2000). Evaluación auténtica de los aprendizajes: un medio para mejorar las competencias en lenguaje y comunicación. Centro de Educación Preescolar y Especial.

Fleming, A. (1948). La Historia de la penicilina (" The story of penicillin"). In Anales de medicina y cirugía (pp. 141-152).

Giraldo-Hoyos, N. (2021). Historia de la penicilina: más allá de los héroes, una construcción social. *Iatreia*, 34(2), 172-179.

Torres, R. (2013). *La Evaluación Formativa*. Ministerio de Educación Pública. San José, Costa Rica.

Anexo 4*Formato protocolo ético y consentimiento informado***Protocolo de Compromiso ético y Consentimiento informado para participantes de investigación**

Proyecto de Investigación:	La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el trabajo colaborativo: La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar.
Investigadores:	Ximena Arredondo Ayala Mariana Uribe Correa

Señor/a acudiente, la siguiente información está dirigida al **participante** del Semillero y se firma con su consentimiento:

Introducción

Usted ha sido invitado a participar en el Proyecto de Investigación titulado **La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el trabajo colaborativo: La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar**, cuyas investigadoras son las profesoras Cruz Ximena Arredondo y Mariana Uribe, docentes del Colegio San Ignacio y miembros de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, adscritas al Grupo de Investigación: Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza –ECCE. Este proyecto de investigación se desarrollará a través del Semillero de microbiología "Explorando el micromundo".

El objetivo del estudio es analizar las posibles relaciones entre la enseñanza de la microbiología por medio de la experimentación cualitativa exploratoria y el desarrollo de competencias para el siglo XXI. El estudio se realizará con estudiantes del Colegio San Ignacio de los grados sexto a noveno. El interés particular es conocer los aportes de este tipo de experimentación a la formación tanto disciplinar y en competencias, como el trabajo colaborativo y la responsabilidad personal y social que desarrollen los estudiantes.

Procedimientos

Si Usted acepta participar en el estudio:

Se le solicitará la asistencia a las sesiones del semillero a realizarse los días martes y jueves de 3:30pm a 4:45pm, dentro de las cuales habrá actividades, cuestionarios y ejercicios de discusión respecto a los temas a tratar. Es importante aclarar que en la resolución de tales actividades no habrá respuestas correctas ni incorrectas, solamente queremos conocer sus consideraciones acerca del tema objeto de estudio.

Si Usted está de acuerdo, durante la discusión que se dé dentro de este grupo se realizarán registros fotográficos (nunca de su rostro) y se grabará en audio, con la única finalidad de tener registrada toda la información y poder analizarla posteriormente.

Beneficios

De participar de todo el estudio, los beneficios directos que recibirá usted son los resultados de los hallazgos y análisis del estudio, y la posibilidad de contribuir a desarrollar una enseñanza de las ciencias más adecuada y contextualizada. Asimismo, se otorgará un certificado de asistencia al semillero emitido por el Grupo de Investigación: Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza –ECCE de la Universidad de Antioquia. No se contempla ningún otro tipo de beneficios.

Confidencialidad / Devolución de la información

La información obtenida en el estudio será de carácter confidencial, y se guardará el anonimato. Esta información será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto para el posterior desarrollo de informes y publicaciones en textos de divulgación y en revistas científicas. Para asegurar la confidencialidad de sus datos, usted quedará identificado(a) con un número, o con un seudónimo, y no con su nombre, lo que garantizará el compromiso de los investigadores de no identificar las respuestas y opiniones de los participantes de modo personal.

Riesgos Potenciales/Compensación

Su participación en este estudio no involucra ningún riesgo o peligro para su salud física o mental. Los encuentros se realizarán dentro del Colegio San Ignacio, lo cual evitará que usted tenga que desplazarse a otros lugares. Los riesgos potenciales que implican su participación en el grupo de

discusión son mínimos; si alguna de las preguntas o temas que se traten le hicieran sentir un poco incómodo(a), tiene el derecho de no comentar al respecto. Igualmente, es importante precisar que usted no recibirá pago alguno por participar en el estudio, y tampoco tendrá costo alguno para usted.

Participación Voluntaria/Retiro

Su participación en este estudio es voluntaria. Si usted decide participar en este estudio, es libre de cambiar de opinión y retirarse en el momento que usted así lo quiera, sin recibir ningún tipo de sanción; en tal caso, la información que se haya recogido hasta la fecha será descartada y eliminada del estudio.

Datos de contacto

Cualquier pregunta que usted y/o su acudiente deseen hacer durante el proceso de investigación podrá contactar a las profesoras Ximena Arredondo, email: carredondo@salignacio.edu.co y/o Mariana Uribe, email: muribec@salignacio.edu.co

Agradecemos desde ya su colaboración, cordialmente:

Profesoras:

Cruz Ximena Arredondo Ayala

Mariana Uribe Correa

ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo _____, identificado con C.C. _____, acudiente del estudiante _____, identificado con T.I. _____, acepto su participación voluntaria en la investigación *La experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la responsabilidad y el trabajo colaborativo: La enseñanza de la microbiología desde un semillero escolar*, desarrollada por las profesoras Ximena Arredondo y Mariana Uribe, docentes del Colegio San Ignacio y miembros de la Universidad de Antioquia.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos y procedimientos del estudio y del tipo de participación. En relación con ello, acepto que mi hijo/a participe en las actividades individuales y en los grupos de discusión, y consiento que se realicen registros fotográficos (nunca del rostro) y grabaciones en audio.

Declaro haber sido informado/a que las fuentes de información como escritos, intervenciones en el grupo de discusión, registros fotográficos, grabaciones de audio, se constituyen en bases de datos para los propósitos señalados, y que estos datos que se recojan serán de carácter confidencial y no se usarán para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

Declaro haber sido informado/a que la participación de mi hijo/a no involucra ningún daño o peligro para su salud física o mental, que es voluntaria, que puede hacer preguntas en cualquier momento del estudio y que puede retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para él/ella. De igual forma declaro haber sido informado/a que por su participación no tendrá ninguna compensación económica.

Declaro saber que la información entregada será confidencial y anónima. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada participante de modo personal.

Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por los investigadores responsables en dependencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y será utilizada sólo para este estudio.

Este documento se firma en dos ejemplares, quedando uno en poder de cada una de las partes.

Nombre del participante	Nombre del acudiente	Identificación del acudiente	Firma del acudiente

Nombre de las investigadoras	Identificación	Firma

Para su constancia se firma a los ____ días el mes de _____ de 2023.

