



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD MONTERREY**

**El diseño de material educativo para el abordaje de la
microbiodiversidad a partir de la exploración del pensamiento
de estudiantes de secundaria**

Tesis que presenta

Cristian Yasser Martínez Rodríguez

Para obtener el grado de

Maestro en Educación en Biología para la Formación Ciudadana

Directora de Tesis:

Dra. María Teresa Guerra Ramos

**Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca
otorgada para la realización de esta tesis**

*Callejero, eres dueño
de tus sueños, tu vida, tu libertad.
Tus caminos son eternos,
Aunque busques un punto donde llegar.
Sólo vos sabés cómo y dónde se tranza,
Que la calle es tu verdad.
Porque vos siempre serás
Un chico callejero.*
Chico callejero. Rata Blanca. A mis amigos profes, por apoyarme.

*Si es tu culpa de ver que haya muerto mi amor
Y que haya desaparecido
Desprecio al olvido, maldigo el perdón
Y hoy canto pa' recordarle.*
Desaparecidos. Los SuzioX. Al punk, por inspirarme.

*It is the lovely thing that we have
It is the lovely thing that we
It is the lovely thing
The animal, the animal instinct.*
Animal instinct. The Cranberries. A mi madre, por estar conmigo en la distancia.

*Here comes the sun
Here comes the sun, and I say
It's all right!*
Here comes the sun. The Beatles. A mi padre, por hacerme amar a Los Beatles.

*Cómo no acordarme de ti
De qué manera olvidarte
Si todo me recuerda a ti
En todas partes estás tú.*
Como te voy a olvidar. Los Ángeles Azules. A México, por acogerme en sus tierras.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, quisiera agradecer a mi mamá y a mi papá por ser los primeros en apoyarme en esta aventura. A mi mami por sus llamadas y mimos a la distancia, y a mi papi por transmitirme su fortaleza y entereza. Estoy muy orgulloso de ser su hijo. Por ustedes soy y seré siempre. Les amo con todo mi corazón.

A mi directora de tesis, Dra. María Teresa Guerra Ramos. Muchas gracias por todo lo que hiciste por mí en los momentos más difíciles de mi estancia en México, por apoyar mis locuras, por despejar mi mente en las crisis de creatividad. Gracias por la hospitalidad, por enseñarme que *se debe amar el tiempo de los intentos*. Por las orientaciones, las risas y las correcciones.

A la Dra. Tatiana Iveth Salazar López por los comentarios, por las reflexiones constantes, por la charla, por las chelas, por estar ahí siempre siguiendo mi proceso formativo, por tu buena vibra y tu confianza.

A la Dra. Roxana Gutiérrez Vidal por apoyarme en la parte disciplinar de este trabajo, por su disposición y aportes constructivos a la tesis.

A mi maestro, Dr. Guillermo Fonseca Amaya, por apoyarme desde la distancia, por enseñarme la grandeza de ser profe. Por forjarme en la investigación y aconsejarme en los momentos de adversidad. Gracias por inspirar en mí un sujeto transformador, político y crítico.

A la Unidad Monterrey del Cinvestav por darme la oportunidad de seguir formándome como profesor de Biología. Especialmente, al Colegio de Profesores de la MEBFC. Al Dr. Gonzalo Peñaloza Jiménez y a la Dra. Alma Adrianna Gómez Galindo por sus clases llenas de reflexiones, por llenarme de rebeldía para continuar este camino de retos y desafíos llamado Educación en Ciencias. A Nallely Jiménez Taboada y a Edson Quijano por sus apreciaciones, aportes y comentarios llenos de experiencia y esperanza.

A la familia que construí en México. A mis colegas de generación: Daniel Garzón, Natalia Valencia, Rosa Ramos, Isabel Lara y Yeison Arboleda por su apoyo permanente.

A mis *roomies* por animarse a adoptar a un colombiano como su hermano. A Leonel Esquibel por hacerme ver lo mejor de mí, por los *chiquis*, por las charlas y por tu apoyo siempre. A Irwing David por compartir conmigo tu pensar, por las pizzas después del ejercicio y los vinos con jugo de naranja.

A Jessica Beltrán por escucharme siempre en los momentos de felicidad y de confusión. Por los viajes compartidos, las fotos que nos tomamos, los viernes de gringas, las conversaciones de

horas sobre el amor y la *matria* viendo el atardecer en el mar con Leo. Por ser mí hermana en tierras regias. Gracias mil por existir.

A la Dra. Karen Melissa Polanco Zuleta, por la compañía, por las enseñanzas, por la apertura hacia la investigación cualitativa. Gracias por transmitirme tu convicción personal, tu tenacidad, tu feminismo y persistencia.

A mi familia en Colombia. Especialmente a Tatiana López, Luisa Latorre, Mily Gómez y Felipe Mendoza. A lxs parcerxs que me apoyaron en este viaje: Nicolás Benavides, Nicolás Velásquez, Esteban Reina, David Villanueva, Maleja Díaz, Rodrigo Varela, Samuel Espinosa...y los que se me escapan. Gracias infinitas por darme las fuerzas para continuar, siempre.

A mis hermanxs: Liz, Kevin, Manuel y Awuar Samir por inspirarme a ser profesor.

A Marcela López Jiménez. Por nuestro sacrificio, por tu amor y compañía, pues sin tu apoyo no lo hubiera logrado nunca.

RESUMEN

La microbiodiversidad, como un concepto en construcción, considera los elementos teóricos ofrecidos por la filosofía de la microbiología, la biodiversidad y la metagenómica para proponer la visibilidad de los microorganismos a partir de tres niveles explicativos: la microbiota, el microbioma y los microecosistemas. Además, se flexibilizan las relaciones entre microorganismos-seres humanos desde la colaboración y la reciprocidad. En ese contexto, esta investigación analiza y reflexiona el proceso de diseño y rediseño de un material educativo para el abordaje de la microbiodiversidad y la promoción de la observación científica a partir de la exploración del pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas; y a la evaluación del contenido de una versión preliminar utilizando el juicio de expertos y de expertas. Se empleó una metodología cualitativa con aspectos cuantitativos descriptivos. Los resultados sugieren que, tanto la exploración del pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos como el juicio de expertos aportan elementos sustanciales para el rediseño del material educativo, principalmente en el fortalecimiento de la perspectiva conceptual-epistemológica, didáctico-pedagógica y estructural-lógica.

Además, este estudio propone una reflexión sobre el proceso de complejización del pensamiento didáctico a partir de la experiencia del profesor-diseñador. A su vez, se plantean algunos aspectos críticos sobre la enseñanza de la microbiología, algunas áreas de oportunidad y nuevas ideas sobre la importancia de abordar una perspectiva compleja y sistémica en el contexto de la biodiversidad de microorganismos y la observación científica.

Palabras clave: Microbiodiversidad, pensamiento, estudiantes, secundaria, observación científica, juicio de expertos.

ABSTRACT

Microbiodiversity, as a concept under construction, considers the theoretical elements offered by the philosophy of microbiology, biodiversity, and metagenomics to propose the visibility of microorganisms from three explanatory levels: microbiota, microbiome and microecosystems. In addition, the relationships between microorganisms-human are made more flexible based on collaboration and reciprocity. In this context, this research analyzes and reflects on the process of design and redesign of an educational material for the approach of microbiodiversity and the promotion of scientific observation from the exploration of the thinking of Mexican and Colombian high school students; and the evaluation of the content of a preliminary version using the judgment of experts. A qualitative methodology with descriptive quantitative aspects was used. The results suggest that both the exploration of the students' thinking about microorganisms and the experts' judgment provide substantial elements for the redesign of the educational material, mainly in the strengthening of the conceptual-epistemological, didactic-pedagogical and structural-logical perspectives.

In addition, this study proposes a reflection on the process of complexity of didactic thinking based on the experience of the teacher-designer. In turn, some critical aspects on the teaching of microbiology, some areas of opportunity and new ideas on the importance of addressing a complex and systemic perspective in the context of biodiversity of microorganisms and scientific observation are raised.

Keywords: microbiodiversity, thinking, students, high school, scientific observation, expert judgment.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RECORRIDO METODOLÓGICO GENERAL	4
CAPÍTULO 1. Planteamiento del problema y justificación	6
1. Planteamiento del problema	6
1.1. Los problemas actuales de la alfabetización científica en microbiología	6
1.2. Problemas derivados de los pensamientos de estudiantes sobre el mundo microbiano	8
1.3. Habilidades complejas y microbiología: el problema de observar al mundo microbiano en el aula.....	9
2. La importancia de complejizar el mundo microbiano: Justificación de la propuesta	9
2.1. Considerar la biodiversidad de los microorganismos para la formación ciudadana.....	10
2.2. La observación como habilidad compleja en el abordaje de la diversidad de microorganismos.	13
2.3. El diseño de material educativo. Oportunidades para la reflexión	15
2.4. La observación de las clases de Ciencias en un aula de primer grado de secundaria	16
3. En síntesis.....	18
4. Preguntas problema y objetivos de la investigación.....	18
CAPÍTULO 2. La enseñanza de los microorganismos en aulas de biología: una revisión de literatura	20
1. La educación en biología y la enseñanza de los microorganismos	23
2. Estrategias y habilidades del pensamiento desarrolladas: Observando y describiendo el mundo microbiano	27
3. Dificultades, retos y oportunidades de explorar el mundo de los microorganismos en el aula de clases	30
4. En síntesis: áreas de oportunidad y relación con el proceso de diseño y rediseño ...	32
CAPÍTULO 3. Construyendo una perspectiva de la enseñanza de la microbiodiversidad a partir de la filosofía: marco conceptual	34
1. Hacia la construcción del concepto de microbiodiversidad: ¿Qué implicaciones tiene en el abordaje de los microorganismos desde una perspectiva biodiversa?	34
1.1. La alfabetización científica en microbiología	34

1.2.	Definiendo la noción de “microorganismo”	35
1.3.	Aspectos evolutivos y papel de los microorganismos en la vida diaria	36
2.	La propuesta de O’Malley: Pensar los microorganismos desde la filosofía de la microbiología.....	39
3.	Problemas de la filosofía de la microbiología que se relacionan con la educación..	40
4.	Considerar a los microorganismos desde la biodiversidad.....	42
4.1.	Los conceptos de diversidad y de biodiversidad en la educación en biología .	42
4.2.	El concepto de microbiodiversidad o diversidad de microorganismos: un concepto en construcción.....	45
4.3.	La microbiodiversidad desde la metagenómica.....	47
5.	Características generales de la microbiodiversidad involucrados en el desarrollo del material educativo.....	49
CAPÍTULO 4. “Detectives de microorganismos”: Diseño preliminar de material educativo.....		54
1.	Modelo de planeación didáctica	54
2.	La observación científica: modelos y perspectivas	55
3.	Relación entre la observación científica y la microbiodiversidad	63
4.	Componentes del diseño preliminar del material educativo.....	63
5.	Trabajos prácticos como enfoque didáctico	65
CAPÍTULO 5. “Nos perjudican y nos benefician”: explorando el pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas respecto a los microorganismos		70
1.	El pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos	70
2.	Diseño e implementación de cuestionario	78
3.	Resultados obtenidos	83
4.	Discusión del pensamiento de estudiantes respecto a los microorganismos	92
5.	Conclusiones.....	95
CAPÍTULO 6. Evaluación del material educativo preliminar: aplicación de juicio de expertos y expertas		97
1.	Antecedentes sobre el juicio de expertos.....	97
2.	Procedimiento para la ejecución del juicio de expertos	98
3.	Entrevista informal	101
4.	Procedimiento para el tratamiento de los datos	101

5. Resultados obtenidos	104
6. Tres voces particulares: procesamiento de entrevistas	119
7. Discusión frente a la evaluación por juicio de expertos y expertas	127
CAPÍTULO 7. La toma de decisiones respecto al rediseño del material educativo ...	130
1. Implicaciones para el rediseño del material educativo	130
1.1. Componente disciplinar-epistemológico.	132
1.2. Componente didáctico-pedagógico.	135
1.3. Componente de observación científica.....	139
1.4. Componente estructural-lógico.....	140
2. En síntesis	142
CAPÍTULO 8. Discusiones finales, reflexiones y conclusiones	144
1. Los aportes de la base empírica: el pensamiento de estudiantes y el juicio de expertos 144	
2. Transformación y complejización del pensamiento didáctico: el proceso de diseño y rediseño.....	145
3. Elementos críticos involucrados en la formación del pensamiento de diseño sobre la enseñanza de la microbiología.....	148
4. Alcances y limitaciones	150
5. Nuevas ideas que emergen	150
6. Conclusiones.....	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
ANEXOS.....	167

Índice de tablas

Tabla 1. Síntesis de los estudios empíricos revisados, relacionados con la enseñanza de los microorganismos en la escuela (MO: Microorganismos). Elaboración propia.	21
Tabla 2. Enfoque del contenido disciplinar de los estudios empíricos abordados. Elaboración propia.	24
Tabla 3. Enfoque del contenido disciplinar de los estudios empíricos abordados. Elaboración propia.	26
Tabla 4. Relación entre los estudios, las habilidades desarrolladas y el nivel de escolaridad. Elaboración propia.	27
Tabla 5. Algunos términos de la microbiología. Adaptado de O'Malley (2014, p. 2), traducción propia.	36
Tabla 6. Síntesis de las relaciones microbianas incorporadas en el diseño preliminar del material educativo.	38
Tabla 7. Niveles de progresión de la observación científica. Adaptado de Kohlhauf et al. (2011, p. 670). Traducción propia.	58
Tabla 8. Componentes de la observación sistemática progresiva. Traducción propia (Eberbach y Crowley, 2009, p. 55 y 56).	59
Tabla 9. Pautas de observación. Adaptado de Busquets et al. (1995).	61
Tabla 10. Diferenciación de los modelos de observación científica a partir de las habilidades cognitivo-lingüísticas y adquisitivas-psicológicas. Elaboración propia.	62
Tabla 11. Relación entre fases, estrategias, conceptos disciplinares clave y la habilidad asociada a la observación. Elaboración propia.	66
Tabla 12. Descripción sintética de las fases de planeación de la secuencia didáctica. Elaboración propia.	67
Tabla 13. Relación entre las fases de planeación, las sesiones y los componentes CDIS, CDID y COBS (Elaboración propia).	68
Tabla 14. Antecedentes teóricos sobre el abordaje de las ideas previas/percepciones sobre los microorganismos. (MO: microorganismos).	73
Tabla 15. Descripción por secciones, tipos de preguntas y finalidad de los reactivos del cuestionario diseñado. Elaboración propia.	78
Tabla 16. Preguntas de la segunda sección, junto con el aspecto específico a explorar. Elaboración propia.	79
Tabla 17. Enunciados de la pregunta 7: Establece si estás de acuerdo o en desacuerdo con las siguientes afirmaciones. Elaboración propia.	80
Tabla 18. Cuadro comparativo entre las preguntas de la encuesta y el cuestionario de Marcos et al. (2019).	81
Tabla 19. Desglose de la muestra por grado, sexo y tipo de escuela (N: nombre, M: Masculino, F: femenino).	81
Tabla 20. Las diez primeras palabras con mayor frecuencia de la nube de palabras.	84

Tabla 21. Frecuencias y porcentaje de las categorías asociadas al aprendizaje reportado por los participantes.	85
Tabla 22. Frecuencias y porcentaje de las categorías asociadas a los intereses. Elaboración propia.	86
Tabla 23. Características sobre estudios que exploran el pensamiento de escolares sobre los microorganismos.	87
Tabla 24. Porcentaje de respuestas sobre los lugares en los que podrían localizarse los microorganismos.	88
Tabla 25. Porcentaje de aciertos y desaciertos por pregunta procesada.	89
Tabla 26. Porcentaje de las categorías asociadas a los asuntos sociales.	92
Tabla 27. Ítems o indicadores establecidos para el proceso de evaluación, con su respectivo código. Elaboración propia.	98
Tabla 28. Información de los expertos seleccionados para la evaluación del contenido del material educativo preliminar. Elaboración propia.	99
Tabla 29. Descripción del sistema de dimensiones y categorías. Elaboración propia.	103
Tabla 30. Frecuencias de las respuestas suministradas por los expertos y las expertas en el proceso de evaluación. Elaboración propia.	104
Tabla 31. Diferenciación de respuestas por campo de experiencia. Elaboración propia. ..	106
Tabla 32. Total de acuerdos, desacuerdos y respuestas neutras por campo de experiencia. Elaboración propia.	107
Tabla 33. Discriminación de las respuestas de expertos/as. Elaboración propia.	108
Tabla 34. Frecuencia de aparición de los comentarios por experto/experta (CAT: categoría; DIM: Dimensión, GI: Gilberto, Gustavo, Li: Lina, Na: Natalia, Ed: Edison, St: Styven, Ro: Rocío). Elaboración propia.	110
Tabla 35. Categorías que surgen de la lectura de las respuestas abiertas correspondientes a las debilidades del material (CDIS: Campo disciplinar-epistemológico; CDID: Campo didáctico-pedagógico; CEST: Campo estructural-lógico; COBS: Campo de Observación Científica). Elaboración propia.	112
Tabla 36. Relación entre fortalezas y recomendaciones en el proceso de evaluación por juicio de expertos. Elaboración propia.	118
Tabla 37. Relación entre los criterios de elección y los/las participantes del jueceo. Elaboración propia.	119
Tabla 38. Relación entre los componentes, las recomendaciones y las implicaciones para el rediseño del material didáctico.	131
Tabla 39. Estructura del material rediseñado	141

Índice de figuras

Figura 1. Esquema general de las fases de investigación. Elaboración propia.	2
Figura 2. Modelos del microscopio propuesto por la maestra y otras propuestas. Elaboración propia.	17
Figura 3. Relación entre la observación y la descripción, a partir del análisis de los estudios empíricos sobre el abordaje de los microorganismos en la escuela. Elaboración propia.	30
Figura 4. Los tres dominios de clasificación natural. Imagen extraída y adaptada de Ingraham (2019, p. 8).	37
Figura 5. Microorganismos involucrados en la versión preliminar y en el rediseño del material educativo.	52
Figura 6. Componentes que conforman el material educativo. Elaboración propia.	65
Figura 7. Algunos elementos presentes en “Detectives de microorganismos”	68
Figura 8. Elementos implicados en la exploración del pensamiento sobre los microorganismos.	77
Figura 9. Nube de palabras elaborada en la página web: https://www.nubedepalabras.es/ .	83
Figura 10. Distribución de puntajes totales obtenidos por los y las estudiantes en las preguntas 15 a 24. Elaborado en SPSS versión 25.	90
Figura 11. Porcentaje de las opciones de respuestas de la pregunta 11. Elaborado en SPSS versión 25.	90
Figura 12. Porcentaje de las opciones de respuestas de la pregunta 14. Elaborado en SPSS versión 25.	91
Figura 13. Esquema general del proceso de juicio de expertos y expertas. Elaboración propia.	101
Figura 14. Gráfico de frecuencias de las respuestas dadas por cada uno de los expertos. Elaboración propia.	106
Figura 15. Estructura epistemológica de la microbiodiversidad como concepto central. ..	134
Figura 16. Habilidades que componen a la observación científica dentro del rediseño del material. Elaboración propia.	139

INTRODUCCIÓN

En este manuscrito consolido los procesos, análisis, discusiones y reflexiones derivadas del diseño de un material educativo para el abordaje de la biodiversidad a partir del pensamiento de estudiantes de secundaria. Me permito escribir este trabajo de tesis en primera persona como un ejercicio de reflexión sobre las implicaciones que tiene el abordaje del mundo microbiano, desde la complejidad que pueda ofrecer la construcción conceptual de la biodiversidad; pues considero que permite plasmar mis pensamientos de mejor manera.

Principalmente, la alfabetización científica en microbiología ha tenido diversos obstáculos. Tres de ellos se centran en la imposibilidad de observar el mundo microbiano, la representación de medios como libros de texto y la historia emergente desde la teoría microbiana de la enfermedad; lo que ha consolidado una visión antropocéntrica basada en las dicotomías y las relaciones lineales no causales en la escuela secundaria (Fraga, 2018; Timmis *et al.* 2019). Teniendo en cuenta estas particularidades, analizo el proceso de diseño de un material educativo, al plantear el abordaje de los microorganismos a partir del concepto de la biodiversidad, término que busca definir la diferencia desde lo microscópico. A esta conceptualización se suma la filosofía de la Microbiología de Maureen O'Malley (2014) que busca la flexibilización de las relaciones simbióticas y disbióticas mediante la colaboración y la reciprocidad. Por otro lado, intento fomentar la habilidad compleja de observación científica dentro del material, asociada a otras habilidades cognitivas y lingüísticas (Kohlhauf *et al.*, 2011; Eberbach y Crowley, 2009; Rodríguez, 2020).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en diseñar un material educativo para el abordaje de la biodiversidad a partir de estudios empíricos. Para ello, diseñé una versión preliminar, denominada “Detectives de Microorganismos”, sometida a evaluación mediante la estrategia de juicio de expertos y expertas. A su vez, exploré el pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas sobre los microorganismos, a través de los aprendizajes escolares reportados, los intereses, las actitudes, los conocimientos alternativos y los asuntos sociales. Ambos estudios empíricos me permitieron generar insumos para tomar decisiones frente al rediseño de este material.

Para ubicar al lector/a la lectora de este trabajo, estructuro la organización de este trabajo en ocho capítulos, que en su conjunto atienden a cuatro fases clave de investigación: (1) el diseño preliminar de material educativo; (2) la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos; (3) el juicio de expertos para evaluar el material preliminar; y (4) el rediseño del material educativo, esquematizado en la figura 1. Así las cosas, en cada capítulo consolido las acciones realizadas para cumplir con cada uno de los

momentos propuestos, así como sus aspectos metodológicos (instrumentos y tratamiento de los datos obtenidos), los resultados y las discusiones correspondientes.

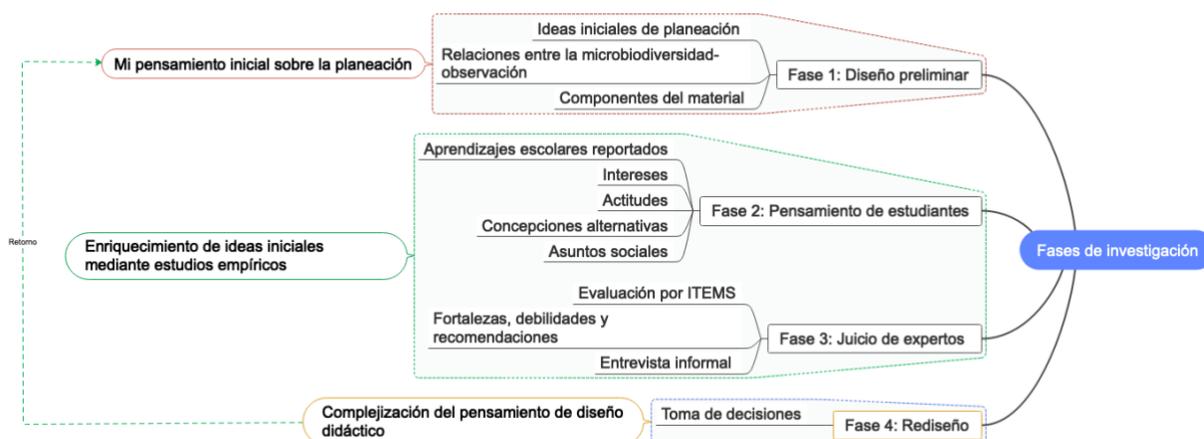


Figura 1. Esquema general de las fases de investigación. Elaboración propia.

A su vez, estas cuatro fases se vinculan a elementos reflexivos sobre mi propia evolución del pensamiento didáctico: **mi pensamiento inicial sobre la planeación** (diseño preliminar del material), el **enriquecimiento de ideas mediante los estudios empíricos** (pensamiento de estudiantes sobre microorganismos y el juicio de expertos) y **la complejización de este pensamiento** (toma de decisiones y rediseño). De esta manera, estructuro este escrito en ocho capítulos.

En el capítulo 1, presento los aspectos que conforman la justificación, el planteamiento del problema, las preguntas a investigar y los objetivos de la investigación. El problema se estructura partiendo de las dificultades de alfabetizar científicamente en microbiología, los problemas derivados de los pensamientos de estudiantes sobre el mundo microbiano, y el problema de observarlo en las aulas de biología desde la relación entre las habilidades complejas y la microbiología. Por otro lado, recalco la importancia de complejizar el mundo microbiano desde su vinculación con la biodiversidad para la formación ciudadana, la promoción de habilidades metacognitivas en el ámbito de los microorganismos y el diseño didáctico de material educativo desde un punto de vista reflexivo.

En el capítulo 2 realizo una revisión de literatura sobre los estudios empíricos que abordan los microorganismos en la escuela, y su análisis desde la educación en biología, el enfoque didáctico, las estrategias y habilidades del pensamiento desarrolladas, y finalmente las dificultades, retos y oportunidades en la exploración del mundo microbiano.

El capítulo 3 es una construcción teórica de una perspectiva de la enseñanza de la biodiversidad a partir de la filosofía de la microbiología, la diversidad y la metagenómica. En este apartado defino los elementos teóricos clave: el concepto “diversidad

de microorganismos” y sus implicaciones en su abordaje, la alfabetización científica en microbiología, la noción de “microorganismo”, la filosofía de la disciplina y problemas que se relacionan con la educación, los conceptos de diversidad y biodiversidad en educación en biología, y finalmente el concepto de microbiodiversidad.

En el capítulo 4 describo los principales elementos que estuvieron relacionados con el diseño de la versión preliminar del material educativo, llamado “Detectives de microorganismos”, a partir del modelo de planeación didáctica planteado por Sanmartí (2002), así como el proceso de diseño en cuatro componentes: disciplinar-epistemológico (CDIS), didáctico-pedagógico (CDID), estructural-lógico (CEST) y el de observación científica (COBS). Así mismo, defino varios modelos y perspectivas de la observación científica y su relación con los procesos de diseño y rediseño.

El capítulo 5 abarca los aspectos implicados en la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria respecto a los microorganismos, a través de los aprendizajes escolares reportados, los intereses, las actitudes, los conocimientos alternativos y los asuntos sociales. Estos aspectos tienen relación con el diseño y aplicación del cuestionario, las características de los participantes, el tratamiento de los datos, los resultados y la discusión.

En el capítulo 6 explicito los elementos teóricos, metodológicos y de análisis del juicio de expertos y de expertas, aplicado para evaluar una versión preliminar del material educativo diseñado de forma inicial. Así mismo, señalo el procedimiento para la ejecución de esta estrategia, además de presentar el análisis de la entrevista informal a los y las participantes del jueceo. Establezco la discusión de la evaluación por juicio de expertos y de expertas a partir de las fortalezas, debilidades y oportunidades; destacando los aspectos más relevantes obtenidos del análisis de las entrevistas.

En el capítulo 7 manifiesto la toma de decisiones respecto al rediseño del material educativo, a partir de las reflexiones derivadas del análisis del pensamiento de estudiantes respecto a los microorganismos, y de la evaluación por juicio de expertos. Además, justifico los elementos incorporados en el rediseño desde cada uno de los cuatro componentes: complejización de la perspectiva epistemológica, fortalecimiento del enfoque didáctico, la asociación de la observación científica con otras habilidades y la estructura general del material rediseñado.

Finalmente, en el capítulo 8, señalo las discusiones finales, las reflexiones y las conclusiones derivadas de este trabajo de tesis. Reflexiono sobre los aportes de la base empírica, la transformación y complejización del pensamiento didáctico, los elementos críticos involucrados en la formación del pensamiento de diseño sobre la enseñanza de la microbiología y las nuevas ideas que surgen. Igualmente, en este último apartado establezco las conclusiones de esta tesis.

RECORRIDO METODOLÓGICO GENERAL

En términos generales, enmarco este estudio dentro del paradigma de la **investigación cualitativa**, que se caracteriza por aplicar técnicas de clasificación, descripción y significado. La intención de la investigación cualitativa consiste en ahondar en el conocimiento y comprensión, mediante registros narrativos. En este sentido, busco interpretar de forma exploratoria la realidad de forma dinámica (Bautista, 2011). Bajo esta perspectiva, la recolección de los datos y el análisis de los mismos contribuyeron a mejorar tanto los objetivos de investigación, como revelar nuevos elementos en el proceso de interpretación (Hernández *et al.*, 2014).

Otros elementos que caracterizan al proceso metodológico están relacionados con la práctica basada en la evidencia, en inglés *evidence based practice* (Elliot, 2001), que considera la evidencia de la investigación como aspecto decisivo y concluyente para la práctica docente, reconociendo que la investigación educativa no es neutral. Así, en este trabajo reconozco la importancia de la investigación como un recurso para pensar la experiencia y en el proceso creativo de generar una nueva propuesta educativa para la enseñanza de la biodiversidad. De esta manera, realizo una profunda comprensión desde una postura de “*profesor aprendiz*”, de investigación hacia el contenido que se enseña (Stenhouse, 1975).

Además, para el procesamiento de los datos me posiciono en el *análisis del contenido* propuesto por Bardín (2002), que busca obtener indicadores cualitativos y cuantitativos a partir de una serie de técnicas de análisis, procedimientos sistemáticos y objetivos de los mensajes provenientes del material de estudio seleccionado o *corpus*, estableciendo inferencias relacionados a las condiciones de producción y recepción de los datos; o deducciones justificadas.

Establezco la base empírica del diseño y rediseño del material educativo a partir de dos procedimientos: el pensamiento de estudiantes y la evaluación de la versión preliminar por juicio de expertos y de expertas.

Para la exploración del pensamiento de los y las estudiantes diseñé y apliqué un cuestionario en línea, dirigido a 315 estudiantes de primer, segundo y tercer grado de secundarias mexicanas y colombianas, conformado por 25 interrogantes, dividido en preguntas abiertas, cerradas, en Escala Likert y de selección múltiple con única respuesta. La caracterización de los datos se realizó a partir de lo cualitativo (análisis de contenido) mediante categorización *a posteriori*, y lo cuantitativo mediante estadística descriptiva. Complejizo el pensamiento sobre los microorganismos, teniendo en cuenta los aprendizajes escolares reportados, los intereses, los términos asociados, las actitudes, los conocimientos alternativos y los asuntos sociales.

Ahora, para evaluar la versión preliminar del material educativo, utilicé el juicio de expertos como una estrategia que establece posiciones argumentadas para identificar fortalezas y debilidades de lo que se está evaluando; cuyo análisis permitirá la toma de decisiones respecto a lo que se debe modificar, integrar o eliminar del material educativo (Galicía, Balderrama y Navarro, 2017). El procedimiento llevado a cabo se basó a lo sugerido por Escobar y Cuervo (2008); y Martínez y Mendoza (2017) a partir de cinco etapas: definición de los objetivos, definición de las dimensiones y criterios a evaluar, el diseño de formato, la selección de expertos y expertas, y finalmente el envío del formato. Posteriormente, seleccioné a dos expertos y una experta para que extendieran sus comentarios a través de una entrevista informal, analizado mediante la formulación de categorías de análisis *a posteriori*.

CAPÍTULO 1. Planteamiento del problema y justificación

1. Planteamiento del problema

Planteo el problema de esta investigación a partir de tres aspectos centrales: (1) los problemas actuales de la alfabetización científica en microbiología, (2) el pensamiento de estudiantes de secundarias sobre los microorganismos, y (3) la promoción de la observación como una habilidad compleja en el aula.

1.1. Los problemas actuales de la alfabetización científica en microbiología

La creación didáctica de material educativo vinculado con el mundo microbiano ha tenido dificultades disciplinares, históricas y culturales que son propias de la naturaleza del contenido de la microbiología. Estos conflictos persisten en la enseñanza y el aprendizaje, debido al constante reduccionismo de la disciplina en las escuelas y a la carencia de perspectivas complejas o sistémicas que no amplían el papel de los microorganismos más allá de la relación beneficio-perjuicio. Para Fraga (2018), existen tres dificultades que están asociadas en alfabetizar científicamente a la población en temas relacionados con la microbiología: (1) la imposibilidad de observar a la vida microbiana (imperceptibilidad); (2) la representación de los medios y de la cultura; y (3) la historia emergente de la disciplina desde la teoría microbiana de la enfermedad.

Respecto a la primera dificultad, la observación de los microorganismos se asoció, como lo afirma O'Malley (2016) con una necesidad de utilizar herramientas que lo permitieran, como el microscopio; de esta manera, la autora argumenta, desde la perspectiva de Cavendish (2001), que no se trata de verdaderas observaciones o de la veracidad de estas, sino de un problema atribuido a los artefactos tecnológicos, que no garantiza una “observación” real de aquello que no se puede ver: “(...) *cuanto sea más magnificada la imagen, más deformada parece de lo natural. La ampliación, multiplicación y lentes ópticos similares, pueden presentar la imagen falsa de un objeto exterior* (p. 51, traducción propia). En este sentido, no basta tener los instrumentos adecuados para observar, sino también una perspectiva teórica para realizar esas observaciones (Hanson, 1977). A pesar de que la microbiología moderna ha creado potentes herramientas de microscopía con alto poder de resolución, no es suficiente tener los instrumentos, pues debe existir una carga teórica que de sentido y significado a aquello que se observa.

En cuanto a la segunda dificultad, las representaciones que se hacen en los medios de comunicación y en libros de texto escolares tienen una connotación profundamente *antropocéntrica* y *dicotómica* (bueno o malo, beneficioso o perjudicial), que contribuyen a una perspectiva combativa, a modo de guerra biológica; asunto que se ha manifestado y

acrecentado en el contexto pandémico que se desarrolla en la actualidad (Peñaloza, 2021). Además, los libros de texto suelen desarrollar este tema tanto lo escrito como lo visual en el ámbito de la salud; mientras que, en lo ecosistémico, se muestran como agentes encargados de la descomposición de la materia orgánica (Ballesteros *et al.*, 2018). Además, suelen omitirse o reducirse estos contenidos en los programas escolares (Camargo, Da Silva y Dos Santos, 2018), considerándolos contenidos alejados de las habilidades cognitivas de los estudiantes (Lago *et al.*, 2017).

Así, desde la tercera dificultad, el estudio de los microorganismos ha tenido una historia reciente por lo que se considera como un campo de estudio emergente, desde su asociación con las enfermedades, configurando la teoría microbiana de la enfermedad (Fraga, 2018). A pesar de que en la actualidad la microbiología se ha extendido a otros ámbitos disciplinares como la biotecnología y la ecología, estas nuevas construcciones conceptuales suelen opacarse por la sociedad, dificultando las oportunidades para generar decisiones que involucren al mundo microbiano en situaciones específicas (Timmis *et al.*, 2019).

En este sentido, la enseñanza de los microorganismos ha estado acompañada de los intereses provenientes de la microbiología, como disciplina científica que establece las funciones de estos seres desde una visión dualista de perjuicios y beneficios (Puig, 2020). Esto se debe a que existe una discrepancia entre el discurso que la ciencia tiene sobre los microorganismos y el punto de vista prevalente en esta materia: *“por un lado, la ciencia muestra que los microorganismos son fundamentales para la existencia de la vida en la tierra. Por el otro, la asociación predominante sobre lo perjudicial parece que persiste entre los que no son especialistas”* (Fraga, 2018, p. 1, traducción propia).

Por lo cual, se ignora la necesidad de tomar una postura que posibilite entender las relaciones desde una visión integrativa, que contribuya a entender la importancia del mundo microbiano más allá de la enfermedad, el mantenimiento de la biodiversidad, la resiliencia de los ecosistemas y la evolución de la humanidad. Respecto a este último punto, El-Hani (2020) manifiesta que los microorganismos (específicamente el microbioma) están asociados a la evolución de sociedades al estar involucrado en procesos como la fermentación de los alimentos, la digestión, la protección de la piel, la fertilización de los sistemas agroalimentarios, entre otras. De esta manera, considera la triada *microbioma-cultura-genes* como una interacción compleja que contribuye a pensar más allá de la causalidad lineal que podría ofrecer la visión de beneficios y perjuicios.

1.2. Problemas derivados de los pensamientos de estudiantes sobre el mundo microbiano

Parte de las estrategias de enseñanza consisten en determinar que es lo que saben los niños y las niñas sobre un concepto para generar nuevas propuestas de enseñanza. Actualmente, en el ámbito de la Investigación Basada en Diseño (IBD), profundizar sobre el pensamiento de estudiantes sobre determinado concepto permite disminuir las brechas entre los objetivos de enseñanza y el análisis epistemológico de un concepto; definiendo la demanda de aprendizaje (Guisasola, Zuza, Ametler y Sarriugarte, 2020).

Desde la perspectiva de la educación en ciencias, Jiménez-Aleixandre (2003) establece que hay una necesidad de ampliar las percepciones sobre los microorganismos. Así, conceptualmente sugiere que los y las escolares restringen las características de ser vivo a los animales únicamente, y que los microorganismos se originan de forma espontánea. En cuanto al campo de lo procedimental, los y las estudiantes agrupan a los microorganismos de acuerdo con semejanzas morfológicas, principalmente. Respecto a lo actitudinal, hay una asociación frecuente de los microorganismos con acciones perjudiciales, sin reconocimiento de su diversidad.

Por tanto, la influencia del pensamiento de los estudiantes a través de las ideas previas o concepciones alternativas es ampliamente reportada por la literatura, pues son los puntos de partida para el proceso de aprendizaje que va más allá de la simple asimilación de los contenidos (Ballesteros, Paños y Ruiz-Gallardo, 2018; Marcos-Merino, Esteban y Ochoa, 2018). Estas concepciones reportadas suelen estar cargadas de *percepciones negativas*, centrándose en las enfermedades y la insalubridad, obviando relaciones simbióticas y las aplicaciones en la agricultura y en la medicina (Ballesteros *et al.*, 2018). Identificar este reduccionismo en el abordaje de la temática reconoce la necesidad de desarrollar estrategias y propuestas didácticas para mejorar su enseñanza (Díez *et al.*, 2016).

Además, Byrne (2011) afirma que las experiencias comunes de la vida tienen influencia en la consolidación de las concepciones alternativas sobre los microorganismos. Por lo tanto, deben considerarse por igual los conocimientos adquiridos mediante la educación formal (la de la escuela) como de la informal (casa, medios de comunicación o museos). Este pensamiento ha afectado la forma en la que los y las docentes hemos abordado este contenido en el aula de secundaria, enfatizando el papel perjudicial de los microorganismos, sin establecer una perspectiva metadisciplinar que invite a pensar los fenómenos microbianos de forma sistémica y compleja.

En este sentido, el proceso de creación de un material educativo está vinculado a la necesidad de generar nuevas propuestas educativas que promuevan una cultura común con formación crítica, en los contenidos relacionados con los microorganismos (Feldman, 2018);

promoviendo habilidades cognitivas que aproximen a los y las estudiantes a reflexionar sobre su acción, generando oportunidades para que se construyan sentidos y capacidades para entender y actuar sobre el mundo, promoviendo el pensamiento crítico (Furman, 2016). De esta manera, el proceso de diseño de un material educativo implica un proceso complejo, flexible y que relacione distintas variables (Dueñas *et al.*, 2018).

1.3. Habilidades complejas y microbiología: el problema de observar al mundo microbiano en el aula

La promoción de habilidades claves para el desarrollo del pensamiento científico es sumamente importante para entender de qué manera se construyen los conocimientos que rodean a la ciencia. Anteriormente, he establecido que uno de los principales problemas para la exploración del mundo microbiano es la dificultad para observarlos y apreciar toda su diversidad. A lo anterior, se suma una falta de capacidad de interpretar a partir de las construcciones teóricas previas; y de reconocer lo que se observa, de discernir entre lo que se desea magnificar en el microscopio y plasmarlo desde lo gráfico o descriptivo (Díaz y Jiménez-Aleixandre, 1996; Ramírez, 2017).

Al respecto, Guerra y López-Valentín (2011) consideran que pocas habilidades complejas se promueven en los libros de texto, sobre todo los que conciernen a la *observación de fenómenos*. En consecuencia, considero que existe una oportunidad para aproximar a los y las escolares de secundaria a la observación como una acción clave que se desarrolla muy poco, o no se desarrolla en material didáctico clave como los libros de texto mexicanos.

Además, la observación es una habilidad explorada principalmente en el preescolar (Rodríguez, 2021) y en la escuela primaria; y, aunque se busca que se “observe” las cosas que interesan a los científicos (ciencia práctica), las inferencias que realizan no tienen características científicas (Eberbach y Crowley, 2009). Además, no se reconoce como un proceso implicado en todas las etapas del trabajo de *indagación*, como, por ejemplo: el planteamiento de las preguntas, la conexión de las experiencias con las nuevas, la recolección de información, el reconocimiento de patrones y relaciones entre eventos y objetos. Oguz y Yurumezoglu (2007) indican que esta es una de las acciones que comienza con estrategias de indagación y de la búsqueda consciente de la información para extender las ideas.

2. La importancia de complejizar el mundo microbiano: Justificación de la propuesta

Mis intenciones con esta tesis se han transformado a causa de una situación inédita, que en la actualidad acontece. De manera inicial, buscaba como docente investigador diseñar e implementar una secuencia didáctica que aportara en la enseñanza de los microorganismos desde la perspectiva de la biodiversidad, como concepto estructurante. A partir de la

implementación, indagaría el desarrollo de la habilidad de observación científica. A pesar de las circunstancias que imposibilitaron la implementación de la propuesta didáctica, decidí darle continuidad mediante el fortalecimiento del diseño didáctico. Estas circunstancias estuvieron relacionadas con el cambio a una modalidad de enseñanza remota en la escuela pública para resguardar la vida, lugar en el que pretendía aplicar la propuesta didáctica, ocasionando una ausencia de contacto -sincrónico o asincrónico- con los participantes involucrados, sin posibilidad de generar evidencias de enseñanza y aprendizaje.

De esta forma, en esta sección desarrollo tres ideas que buscan destacar la importancia de realizar esta investigación. El primer aspecto aborda la importancia de vincular dos contenidos disciplinares: **la biodiversidad y los microorganismos**; mientras que el segundo considera **la promoción de habilidades complejas** que aproximen a los y las estudiantes a la percepción, interpretación y reflexión sobre los fenómenos de la vida en el contexto a través de la observación científica; y el tercero está vinculado al **diseño didáctico de material educativo**. En su conjunto, considero que constituyen una búsqueda por formar a una ciudadanía informada y consciente al considerar al mundo microscópico desde una perspectiva *metadisciplinar* (García-Díaz y García-Pérez, 2001), trascendiendo de las visiones dicotómicas basadas en los beneficios y los perjuicios.

Desde las construcciones teóricas de esta tesis, esta perspectiva *metadisciplinar* invita a comprender el mundo microbiano más allá de las relaciones causales lineales, posibilitando interacciones complejas basadas en la colaboración y la reciprocidad (O'Malley, 2014), a partir de elementos explicativos que establezcan una causalidad integrativa desde la filosofía de la microbiología al flexibilizar las relaciones simbióticas y disbióticas (O'Malley, 2016). Además, la visión metadisciplinar vincula elementos de la naturaleza, la sociología y la historia de la microbiología; estableciendo efectos y retornos (García-Díaz y García-Pérez, 2001); para comprender la relación entre la sociedad y la naturaleza microbiana, que merece ser conservada desde una explicación evolutiva de la biodiversidad (García y Martínez, 2010; Fonseca, 2011; Orozco, 2017; González, 2020).

2.1. Considerar la biodiversidad de los microorganismos para la formación ciudadana

Uno de los grandes logros de la historia de la biología ha sido el descubrimiento del mundo microbiano, producto de la curiosidad y del desarrollo de algunos instrumentos de observación, como el microscopio. Desde entonces, los microorganismos han tenido un gran interés en la sociedad, debido a que son un componente sumamente vital para entender parte de los sistemas vivos y de comprender la complejidad de la vida microbiana (Fraga, 2018; O'Malley, 2016; Timmis *et al.*, 2019). Bajo este panorama, indico tres elementos que podrían estar implicados entre la microbiobiodiversidad y la formación ciudadana: la alfabetización

científica en la disciplina, la trascendencia de una visión antropocéntrica, la necesidad de (re)pensar la enseñanza de la microbiología y la visión compleja que se relaciona al concepto de la biodiversidad.

En primera instancia, existe una necesidad emergente de alfabetizar científicamente en microbiología en la sociedad, debido a que las decisiones que involucran a los microorganismos se opacan y la información proporcionada por fuentes inmediatas es parcializada e incompleta (Timmis *et al.*, 2019). Así, los contenidos relacionados con la microbiología en el aula de clase de Biología no se abordan desde la perspectiva de la formación ciudadana, pues la falta de comprensión de los conceptos que están involucrados puede ampliar las brechas sociales, asociando la presencia de microorganismos únicamente a los estratos menos privilegiados, y evitando la problematización de las condiciones precarias en las sociedades y el papel de estos seres para el mantenimiento de la vida en el planeta (Camargo *et al.*, 2018). De esta manera, considero que es importante un reconocimiento del papel preponderante de los microorganismos en una sociedad, desde una visión que promueva el valor intrínseco (conservación y valoración de la diferencia) de la diversidad biológica sobre el valor instrumental (González, 2020).

Además, otra perspectiva derivada de la formación ciudadana está relacionada con un abordaje de los microorganismos desde una visión que trascienda la *visión antropocéntrica* (centrada en las dicotomías), reconociendo la interdependencia, explorando la diferencia desde ese “otro” cuya existencia es necesaria e imprescindible para nuestra existencia (Skliar, 2002). Este aspecto es sumamente importante, pues es posible extrapolarse a un sentido *axiológico* desde la alteridad, como una idea de respeto y reconocimiento a la diferencia en la realidad escolar.

Por otro lado, teniendo en cuenta el panorama *pandémico* en el que desarrollo esta tesis, coincido con Adúriz-Bravo (2020), quien invita a *(re)pensar* las formas en las que estamos enseñando los conceptos relacionados con la biología (y la microbiología), rescatando elementos de carácter epistemológico, que contribuyan a la generación de una alfabetización crítica, repensando también, en las decisiones que tomamos como profesores y profesoras de biología respecto a *por qué* abordar temas vinculados a la microbiología, *cómo* hacerlo y el *para qué* hacerlo.

Desde una perspectiva compleja, García-Pérez y García Díaz (2001) consideran que la diversidad es un concepto metadisciplinar, que involucra el conocimiento *metacientífico*. Este carácter *metacientífico* está relacionado con la naturaleza, historia, sociología y epistemología de las ciencias; como también con “*las cosmovisiones que orientan el para qué y el por qué de las decisiones que se toman tanto en el ámbito científico como en el educativo*” (p. 3). Así, la diversidad actúa como un organizador de los conceptos, habilidades y actitudes que están vinculados a los contenidos en una propuesta didáctica. Para estos

autores, la diversidad es un elemento metadisciplinar, “*lo que implica complementar y complejizar la visión disciplinar, ampliando nuestra visión de la intervención educativa*” (García-Pérez y García Díaz, 2001, p. 3). De esta manera, la diversidad me permite reflexionar sobre algunas preguntas relacionadas con el estudio de la didáctica de las ciencias que anteriormente he mencionado: ¿por qué enseñar?, ¿para qué enseñar? y ¿el cómo enseñar?

Específicamente, desde la enseñanza de la biodiversidad, Núñez, González y Barahona (2003) afirman que lo “*biodiverso*” considera la propiedad que tienen los seres vivos de ser *diferentes*, que incluye las formas de adaptarse, relacionarse e interactuar con los ecosistemas y los seres humanos. Este aspecto es compartido por García-Pérez y García-Díaz (2001), que indican como un aspecto imperativo el reconocimiento de esa diferencia, entendiendo las interacciones y la influencia mutua entre el mesocosmos y el microcosmos.

Además, el concepto de “biodiversidad”, establecido por E. Wilson, en 1988, propone la variación genética en las especies en comunidades locales que componen diversos ecosistemas en el mundo (Núñez *et al.*, 2003). Este conocimiento se ha extendido más allá de la biología y la ecología para abordarse desde diversas dimensiones: lo político, lo cultural, lo social y económico (Orozco, 2017). Así pues, considerar la diversidad de los microorganismos implica establecer el estudio de una microbiología que considere la diversidad genética, de especies y de ecosistemas que ocupan (SEMARNAT, 2007). Lo anterior, abre la posibilidad de un abordaje *metadisciplinar*, que amplíe la visión del mundo microbiano hacia otras visiones evolutivas, complejas y hasta filosóficas para comprender nuestra existencia a partir del existir microbiano (O’Malley, 2014 y 2016; O’Malley y Parke, 2020).

Por otro lado, Halffter (1994) argumenta que la biodiversidad se ha convertido en un paradigma para crear consciencia sobre su valor cultural y las consecuencias que traería consigo la pérdida de los recursos biológicos. De esta manera, el concepto de *diversidad biológica* ofrece una oportunidad para comprender la relación entre la sociedad y la naturaleza, que devienen de la crítica al desarrollo actual. Es así como “*la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida*” (p. 6).

En este sentido, pretendo vincular estos dos conceptos en uno solo: *la diversidad de microorganismos*, o la *microbiodiversidad*. Por ende, Capello, Donovarros y Giono (2000), sugieren involucrar a los microorganismos dentro de la ecología, la biotecnología, la genética u otros paradigmas emergentes de la microbiología, como la *metagenómica*. La importancia de hablar de una “*microbiodiversidad*” radica en vincular a estos seres con el mantenimiento de los ecosistemas (Montaño *et al.*, 2010), la generación de biomasa, el intercambio químico, las relaciones simbióticas y cooperativas que conforman con otros organismos y con los

lugares que habitan; así como con la resiliencia de los agroecosistemas y la convivencia con ellos en nuestra vida cotidiana (O'Malley, 2014; El-Hani, 2021). En este sentido, la biodiversidad, desde el ámbito de la formación ciudadana, invita a pensar la necesidad de reconocer a aquello que convive con nuestro cuerpo; cuya existencia es necesaria para nuestro existir, y que es necesario reconocer y respetar.

En síntesis, relacionar las concepciones que rodean a los microorganismos desde la biodiversidad implica aproximar a los y las estudiantes a otras formas de vida desde lógicas más complejas, partiendo de estrategias didácticas que se enfoquen desde visiones objetivas, coherentes con la realidad científica y promoviendo el desarrollo del pensamiento crítico (Puig, 2020). Si el mundo en el que se habita es, de hecho, un mundo microbiano, entonces habría que repensar muchas de las formas filosóficas en la que se conciben los fenómenos biológicos y como se investigan (O'Malley, 2016).

2.2. La observación como habilidad compleja en el abordaje de la diversidad de microorganismos.

Considero dentro del desarrollo de esta tesis a la observación como una habilidad compleja (Rodríguez, 2021), en el contexto de la enseñanza y aprendizaje de los microorganismos, que se deriva de su asociación con otras habilidades cognitivo-lingüísticas como la descripción y el registro (Mafra, 2012; Ramírez, 2017) y habilidades consideradas como adquisitivo-psicológicas, como la interpretación, la atención, la percepción y la reflexión (Ramírez, 2017; Cohen, 2020); que podrían potenciar la metacognición dentro del aula de clase. Por ende, la observación es una habilidad importante y necesaria para fomentar los aprendizajes en la enseñanza de los conocimientos biológicos. En este sentido, intento relacionar esta habilidad con el estudio de los microorganismos, estableciendo la importancia de la observación en la enseñanza de las ciencias.

En primera instancia, la observación científica requiere la promoción de otras habilidades como la descripción, el razonamiento científico, la interpretación (Koulhauf, Ruthke y Neuhaus, 2011), la comparación (Rodríguez, 2021), el reconocimiento, la expectativa (Eberbach y Crowley, 2009), el interés, la exploración sensorial y la comunicación (Busquets, Juando, Geli y Trebal, 1995). Esta complejidad podría aprovecharse para la identificación de progresos y dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje, dentro del diseño de materiales educativos que promuevan esta habilidad. Este último aspecto tiene relación con la metacognición o el componente metacognitivo.

En palabras de Pérez y González (2020), la metacognición es definida como aquel conocimiento que tienen las personas sobre su propia cognición o sobre otras. Para Tamayo (2006) esto permite monitorear, evaluar y planificar el aprendizaje propio; elementos de los

cuales carece la enseñanza de las ciencias. Existe una relación entre la metacognición y el pensamiento crítico, pues lo metacognitivo implica la reflexión sobre la propia cognición mediante la autocorrección, el pensar sobre el pensamiento para plantear acciones para mejorarlo, y la reflexión crítica sobre la propia práctica (Tamayo, Zona y Loaiza, 2016).

A pesar de que la observación científica se considere como una habilidad compleja potencialmente metacognitiva, llevar a cabo estas habilidades no son metacognitivas por sí solas, pues son necesarios procesos intermedios que contribuyan a la identificación de aprendizajes, así como la modelación de estrategias por parte del profesor y la profesora para ofrecer oportunidades a los y las estudiantes de utilizarlas (Pérez y González, 2020). No obstante, el proceso de diseño de material educativo podría manifestar ideas que consoliden las oportunidades para que se discutan las dificultades y los progresos en los aprendizajes de los y las estudiantes.

Otro aspecto importante de la observación tiene que ver con la carga teórica. Desde la perspectiva de la Naturaleza de las Ciencias (*Nature of Science*, o NOS), Hanson (1977) explica la importancia de la observación desde la “carga teórica”, mediante un ejemplo aplicado puntualmente al mundo de los microorganismos. El siguiente ejemplo indica que, a pesar de que se observe el mismo fenómeno a través del microscopio, la interpretación depende de las construcciones teóricas que posean:

Imaginemos que los dos están observando un protozoo, una *Amoeba*. Uno de ellos ve un animal unicelular, el otro un animal no celular. El primero ve a la *amoeba* en todas sus analogías con los diferentes tipos de células simples: células del hígado, células nerviosas, células epiteliales. Estas tienen membrana, núcleo, citoplasma, etc. Entre las de esta clase, la *amoeba* se distingue sólo por su independencia. Sin embargo, el otro ve que las *amoebas* son análogas, no a las células simples, sino a los animales. Como todos los animales, la *amoeba* ingiere su comida, la digiere y la asimila. Excreta, se reproduce y es móvil de una manera más parecida a como lo es un animal que la célula de un tejido (Hanson, 1977, p. 78).

En este fragmento propuesto por el autor se explica que, ante la observación de un fenómeno hay dos interpretaciones distintas. Este elemento podría afectar el proceso de experimentación, pues la base de las observaciones son aspectos que provienen de lo perceptivo, estableciendo características puramente visuales. Lo anterior es importante, porque habría que definir desde qué teoría se llevan a la luz las construcciones que realiza cada científico y científica.

Por otro lado, desde la Educación en Ciencias, De Pro Bueno (1998) argumenta que la observación es uno de los contenidos procedimentales que podrían introducirse para favorecer la entrada de elementos innovadores en el aula mediante el diseño de actividades,

a pesar de ser un proceso complejo y sistemático, que busca que los y las estudiantes sean conscientes del aprendizaje de elementos cognitivos que están relacionados.

Para Johnston (2009), la observación es una habilidad que está influenciada (además de la teoría) por las ideas previas y los intereses. Esta autora argumenta que la observación mejora a medida que van creciendo los niños y las niñas, dirigiendo otras habilidades como la formulación de hipótesis y la interpretación. Desde una concepción socioconstructivista, la observación contribuye a la metacognición, al desarrollo conceptual y a la construcción social. Igualmente, Rodríguez (2021) destaca que el desarrollo de esta habilidad involucra un proceso dinámico que se relaciona tanto al contexto como a los objetivos de enseñanza. En este sentido, esta autora recalca que la observación es compleja, que se apoya en la comunicación de los hallazgos y el seguimiento de los procesos que involucran al quehacer científico en la escuela.

Particularmente en la enseñanza de los microorganismos, la observación científica juega un rol muy importante en la realización de las actividades propuestas por los y las docentes que han llevado experiencias empíricas. Puntualmente, en la investigación llevada a cabo por Ramírez (2017), se relaciona la observación científica con las actividades prácticas en la secundaria. En esta experiencia, el conocimiento disciplinar eran los microorganismos (específicamente los *protozoarios*), documentando los procesos de registro y descripción desde la morfología. Concluye que la observación que es una habilidad que ocurre de manera progresiva, mencionando que una de las dificultades se centra en la generación de reflexiones por parte de los y las estudiantes sobre lo que se observa, centrándose en las características morfológicas más visibles (como los cilios, flagelos, formas ovaladas y algunas nociones de tamaño).

2.3. El diseño de material educativo. Oportunidades para la reflexión

Para mi formación profesional, esta tesis contribuye a generar reflexiones de las implicaciones que tiene la creación didáctica de material educativo nuevo, a partir de evidencia empírica. Como profesor, soy consciente de que no es fácil llegar a una comprensión absoluta de los conceptos que están vinculados a los microorganismos y a su historia. No obstante, el abordaje de la biodiversidad abre una posibilidad de resaltar aspectos vinculados a los microorganismos, desde una educación científica que promueva una oportunidad de democratizar el conocimiento.

Por lo tanto, como profesor, tengo un papel activo en el proceso de mediación. Desde la perspectiva de Pereira, Romão, Pantoja y Paixão (2014), es importante elaborar nuevas propuestas y metodologías de aprendizaje que desarrollen habilidades deseadas por los alumnos y alumnas, que salgan de la acción *transmisionista* y *expositiva* que suele rodear la

enseñanza de conocimientos biológicos vinculados a la microbiología. El estudio de los microorganismos en el aula se asocia a un esfuerzo por conectar la experiencia científica que caracteriza al conocimiento microbiológico. Es decir, parte de la experiencia de abordaje conceptual de los microorganismos, también se incorporan elementos procedimentales que emulan el mundo científico de microbiólogos y microbiólogas.

Así las cosas, el diseño de material didáctico implica ahondar en aspectos epistemológicos que complejicen la mirada del profesor o la profesora; y de los y las estudiantes, alimentado por datos empíricos que perfeccionen mi punto de vista. Por lo tanto, este ejercicio responde a una necesidad de reflexionar sobre el proceso de diseño de secuencias y materiales didácticos, que contribuya a establecer un panorama sobre la toma de decisiones, y las implicaciones sobre el diseño de nuevas propuestas de enseñanza y aprendizaje del mundo de los microorganismos y su vínculo con la biodiversidad.

2.4. La observación de las clases de Ciencias en un aula de primer grado de secundaria

La idea de esta investigación surgió a partir de las observaciones que realicé a las clases de Ciencias I en el aula de primer año de una Escuela Secundaria Pública ubicada en el municipio de Apodaca, en el Estado de Nuevo León, México. Estas observaciones se realizaron desde septiembre de 2019 hasta febrero de 2020. Este grupo estaba compuesto por 38 estudiantes (18 niños y 20 niñas) con edades entre los 11 y los 13 años. La maestra era Licenciada Normalista en la especialidad de Biología. Una experiencia en particular que me llamó la atención fue la elaboración de un modelo de un microscopio tridimensional que fue propuesto por la maestra, como se muestra en la figura 2. Lo fundamental en la elaboración de este modelo fue la identificación de las partes del microscopio, que debían ser memorizadas por los estudiantes. Recuerdo que, en efecto, memorizaban las partes del microscopio. Sin embargo, dos aspectos me inquietaban; el primero, si comprendían el funcionamiento de este aparato; y el segundo, las implicaciones e importancia de este descubrimiento para la historia de la biología.



Figura 2. Modelos del microscopio propuesto por la maestra y otras propuestas.
Elaboración propia.

En el proceso de observación de clase tuve la oportunidad de interactuar con los estudiantes y con la maestra. Habitualmente, en la observación de las clases, recorría el aula para ver la forma en la que trabajaban los estudiantes, y detectar particularidades que me permitieran establecer estrategias para vincular a los estudiantes en actividades grupales o colectivas. Particularmente, una de las estrategias de evaluación implementadas por la maestra consistía en que los y las estudiantes construyeran sus propios exámenes para intercambiarse entre sí. Sin embargo, la organización del aula imposibilitaba el trabajo grupal, privilegiando las actividades individuales. Por ende, la maestra hacía un esfuerzo importante por promover el intercambio de actividades entre estudiantes, aplicando estrategias de coevaluación y la autoevaluación para la revisión de los contenidos que entrarían en el examen.

De esta manera, los elementos de este contexto me permitieron realizar el diseño preliminar del material educativo para abordar la diversidad de microorganismos, teniendo en cuenta las condiciones que observé en el aula de clases, los espacios disponibles y la disposición permanente de la maestra por contribuir a la propuesta. No obstante, al llegar la pandemia, reajusté el proceso investigativo hacia la mejora del diseño del material educativo, como un proceso de ideas iniciales sobre la planeación didáctica.

Por ello, conservé la propuesta, tal y como la había diseñado en ese momento. Posteriormente, consideré realizar dos estudios empíricos para pensar en la mejora del material y extender el contexto actual, mediante la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos, provenientes de escuelas secundarias mexicanas y colombianas; y, por otro lado, la incorporación de voces de expertos y expertas en didáctica de las ciencias, microbiología y profesores de Ciencias con experiencia en la escuela secundaria.

3. En síntesis

En suma, las dificultades de la alfabetización científica en microbiología están relacionadas a la imperceptibilidad, a la representación de los medios y de la cultura; y de su historia emergente. Particularmente, la observación de los microorganismos está asociada al desarrollo de instrumentos como el microscopio, surgiendo nuevos problemas: la falta de capacidad de interpretación, reconocimiento y discernimiento sobre lo que se observa, asunto reflejado en los libros escolares de texto. Sumado a ello, las percepciones de escolares sobre el mundo microbiano son principalmente negativas, privilegiando la relación lineal de salud-enfermedad, o de beneficios-perjuicios, sin un reconocimiento real de su diversidad, lo que implica una oportunidad para el desarrollo de estrategias didácticas para ofrecer una mirada sistemática y compleja sobre los microorganismos.

En este sentido, justifico este trabajo de tesis desde la vinculación de la biodiversidad como concepto estructurante, la promoción de la observación científica y la reflexión sobre el diseño de material educativo. Considero que el concepto de diversidad biológica ofrece una oportunidad de reconocer la importancia de los microorganismos en la sociedad, promoviendo la conservación de la vida microbiana; repensando el *por qué*, el *para qué* y el *cómo hacerlo*. La biodiversidad, como concepto metadisciplinar, amplía la visión de la intervención educativa, considerando y reconociendo la diferencia desde lo conceptual y lo axiológico, complejizando la relación entre los seres humanos y el mundo microbiano. Por otro lado, la observación, con carga teórica, es una habilidad compleja que está vinculada con otras habilidades relacionadas con el conocimiento científico escolar. De esta manera, pienso que es importante generar las reflexiones sobre lo que implica diseñar materiales educativos desde una perspectiva crítica, tomando en cuenta elementos provenientes de la observación de un aula de clases realizada de forma presencial.

4. Preguntas problema y objetivos de la investigación

Dados los elementos anteriormente expuestos en la introducción, propongo la siguiente pregunta general para este proyecto de tesis:

¿Cuál es el aporte de estudios empíricos como la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos; y la evaluación de contenido por juicio de expertos y de expertas en el diseño de un material educativo para el abordaje de la microbiodiversidad?

Además, propongo estas preguntas particulares:

1. ¿Qué términos asociados, aprendizajes escolares reportados, intereses, actitudes, concepciones alternativas y asuntos sociales caracterizan el pensamiento de estudiantes de secundaria mexicanas y colombianas, en relación con los microorganismos?
2. ¿Qué fortalezas, dificultades y recomendaciones surgen a partir de la evaluación de una versión preliminar del material educativo para el abordaje de la biodiversidad y la promoción de la observación científica; a través de un juicio de expertos y expertas?
3. ¿De qué manera incorporar la exploración del pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas, y las recomendaciones de los expertos y las expertas para el rediseño del material educativo?

Así mismo, planteo el siguiente objetivo general:

Diseñar un material educativo para el abordaje de la biodiversidad a partir de estudios empíricos sobre la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria y el juicio de expertos y expertas.

Los objetivos específicos que están relacionados son los siguientes:

1. Explorar el pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas sobre los microorganismos, a través de los aprendizajes escolares reportados, los intereses, las actitudes, los conocimientos alternativos y los asuntos sociales.
2. Evaluar el contenido de una versión preliminar del material educativo a través de un juicio de expertos y expertas en didáctica de las ciencias, en microbiología y con profesores con experiencia en secundaria.
3. Incorporar la exploración del pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas; y las recomendaciones de los revisores expertos para el rediseño de una versión final del material educativo.

CAPÍTULO 2. La enseñanza de los microorganismos en aulas de biología: una revisión de literatura

En el ámbito de la educación científica ha existido un interés y una preocupación creciente por reconocer a los microorganismos como parte de la diversidad biológica, aproximando a los y las estudiantes a otras formas de vida a partir de diferentes estrategias didácticas. Por tanto, expongo la necesidad de dejar atrás las formas tradicionales de abordar este tema en la escuela, apartándose de los prejuicios fortalecidos por los medios divulgativos, el miedo a lo desconocido o a lo que no se puede observar a simple vista; y valorando positivamente el papel que cumplen en el ambiente, en la sociedad, en la cultura y como parte fundamental de la biodiversidad. De esta manera, presento y analizo los antecedentes relacionados con experiencias empíricas en torno a la enseñanza y el aprendizaje de los microorganismos en la escuela.

La intención de realizar esta exploración de estudios empíricos fue la de examinar experiencias previas en la enseñanza de los microorganismos, valorando la experiencia de profesores y profesoras que han abordado este tema en sus aulas. Además, al realizar este análisis rescato elementos que podrían ser importantes para el diseño y el rediseño del material educativo. Así mismo, considero pertinente establecer de qué manera se ha visibilizado el mundo microbiano en la escuela secundaria a partir del enfoque disciplinar, el tratamiento didáctico y las habilidades explicadas.

A partir de una revisión documental, exploro las propuestas implementadas en el aula y cuyos resultados se han divulgado como parte de una investigación. Esta revisión comenzó con un rastreo de artículos indexados, y tesis (de grado y posgrado) en bases de datos y metabuscadore, como Web of Science, Scopus, Science Direct, ERIC, Google Scholar y repositorios institucionales. Las palabras clave empleadas para la búsqueda fueron: enseñanza (de/y) microorganismos (*microorganism teaching*), aprendizaje (de/y) microorganismos (*microorganism learning*), microbiología en la escuela (*scholar microbiology*). Posteriormente, escogí los artículos y tesis de grado publicados en los últimos diez años (2010-2020) que implementaran una propuesta didáctica en el aula e hicieran un análisis empírico del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Desde el enfoque disciplinar, la visibilización del mundo microbiano sugiere una amplitud de perspectivas que podrían generar discusiones sobre la visión pesimista de la microbiología. Así, se plantean múltiples desafíos que están asociados a los abordajes didácticos utilizados, y las habilidades resaltadas. Los resultados que encontré se exponen a través de la tabla 1, señalando autores y año de publicación, el país de origen, el enfoque didáctico y disciplinar, los participantes de la implementación y los elementos destacados, que provienen del análisis de cada una de las experiencias empíricas implementadas.

Tabla 1.

Síntesis de los estudios empíricos revisados, relacionados con la enseñanza de los microorganismos en la escuela (MO: Microorganismos). Elaboración propia.

Autor(es) y año	País	Enfoque didáctico	Participantes y nivel	Elementos destacados
Rozo (2011)	Colombia	Trabajo práctico, aprendizaje significativo	Estudiantes de 9 años (Primaria)	Las observaciones realizadas partían desde lo macroscópico para llegar a lo microscópico. Los aprendizajes mostraron que la supervivencia de los MO es dependiente de los individuos (relación de dependencia). Además, destaca la importancia de vincular la relación con el ecosistema y la interacción entre microorganismos y macroorganismos desde el punto de vista ecológico.
Durango (2012)	Colombia	Aprendizaje significativo	Estudiantes de 12 años (secundaria)	Para el desarrollo de esta propuesta fue importante la observación y la percepción para comunicar las ideas y la producción de conocimiento. Se asociaron los microorganismos con la elaboración y descomposición de los alimentos. A su vez, destaca las dificultades en torno a las descripciones asociadas al sentido de la proporción, el mejoramiento del trabajo independiente de los estudiantes y el cambio en la visión de construcción de ciencia centrada en los procesos y no en los conceptos.
Mafra (2012)	Portugal	Trabajos prácticos, observación guiada.	Estudiantes de 9 y 10 años (primaria)	El trabajo experimental propicia espacios de libertad considerados necesarios para el desarrollo personal y social de los y las estudiantes que contribuyen a la construcción de caminos personales para acceder al conocimiento. Realizaron observaciones de preparaciones microscópicas, demostrando entusiasmo, asombro y admiración por lo que observaban.
Khalil y Lazarowitz (2014)	Israel	Modelo STEP (Ciencia, tecnología, ambiente y paz)	No especifican (secundaria)	El tema de microorganismos se ha abordado desde tres temas unificadores de la biología: diversidad de tipos y patrones de seres vivientes, complementariedad entre organismos y ambiente y la complementariedad entre la estructura y la función. Abordar a los MO desde el enfoque

Autor(es) y año	País	Enfoque didáctico	Participantes y nivel	Elementos destacados
				STEPS permitió aumentar las actitudes y los intereses hacia la paz.
Mafra, Lima y Carvalho (2015)	Portugal	Trabajos prácticos	Estudiantes de 9 y 10 años (primaria)	Como fortaleza de este estudio cabe destacar que es importante la colaboración entre la escuela y las universidades u otras entidades o centros de investigación, para llevar a cabo actividades experimentales. Establecen que las observaciones de los microorganismos partieron de las condiciones macroscópicas, que son más fáciles de identificar a simple vista.
Akl (2017)	España	Enseñanza basada en la indagación	Estudiantes de 11 años (secundaria)	La autora destaca la necesidad de partir del análisis de situaciones presentes en el entorno de los y las estudiantes, teniendo en cuenta las ideas previas o iniciales que tengan sobre los microorganismos. Parte del proceso del enfoque por indagación, también están implícitos procesos como la observación y la descripción, como parte del acercamiento al conocimiento científico.
Lago, Masiero, Bramuzz o, Callegaro , Poloni, Corrá y Santovito (2017)	Italia	Trabajos prácticos y modelos	Estudiantes de 10 años (primaria)	Las prácticas de laboratorio y los métodos experimentales fueron eficientes para el fomento del proceso de aprendizaje, pues permitieron la observación en tiempo real, realizar preguntas, formular hipótesis y búsqueda de respuestas. Partir de los intereses de los estudiantes tuvo un gran impacto en el apoyo a la motivación para aprender porque permitió que cada tema fuera significativo.
Ramírez (2017)	Colombia	Trabajos prácticos	Estudiantes de secundaria	Esta experiencia enfatiza en la observación científica, definiéndola como una habilidad procedimental. Subraya que existen dificultades para provocar la reflexión sobre el objeto observado en el contexto de los MO.

Autor(es) y año	País	Enfoque didáctico	Participantes y nivel	Elementos destacados
Gómez y Yepes (2018)	Colombia	Aprendizaje basado en Proyectos	Estudiantes de 9 años (primaria)	Resaltan que los contenidos disciplinares en MO, contribuyen a la promoción y el desarrollo de habilidades científicas, talentos y aptitudes. En los resultados detectan en las respuestas de los estudiantes una relación entre los MO, las enfermedades, la higiene y el clima.
Trejos y Bedoya (2019)	Colombia	Indagación	Estudiantes entre 7 y 9 años (primaria)	En esta experiencia los autores destacan la inclusión de los padres y madres de familia para conectar los contenidos escolares, generar actitudes frente a la importancia de los microorganismos y el impacto de estos seres en el ámbito social.
Cohen (2020)	Estados Unidos	Trabajos prácticos y habilidades de laboratorio	Estudiantes de 12 años (secundaria)	Establece que el estudio de los microorganismos es útil para afinar habilidades relacionadas con la comparación con animales y plantas. Para este autor, el microscopio se convierte en una extensión del ojo humano hacia lo desconocido.
Molina, Paños y Ruiz-Gallardo (2021)	España	Trabajos prácticos	114 estudiantes entre 6-8 años (primaria)	El método empleado consistió en un diseño <i>cuasiexperimental</i> con diseño pre/pos-test, aplicando un método tradicional a un grupo control. A pesar de que hay mejorías en los conocimientos adquiridos en ambos grupos, no hay mejorías en el grupo experimental en el que se aplicó un trabajo más práctico. Los autores concluyen que el esfuerzo cognitivo se concentra en las tareas experimentales, mientras que los conocimientos quedan relegados.

A partir de esta revisión de estudios empíricos, considero importante resaltar de manera puntual las estrategias didácticas que se han desarrollado en torno a la enseñanza de los microorganismos en la escuela primaria y secundaria; así como las estrategias y habilidades del pensamiento desarrolladas; y las dificultades, retos y oportunidades de explorar el mundo microbiano.

1. La educación en biología y la enseñanza de los microorganismos

La revisión de los estudios aporta datos interesantes para mi propuesta. Desde la educación en biología, me parece relevante examinar el nivel de escolaridad en la que se han

desarrollado los antecedentes, así como el enfoque del contenido disciplinar y las estrategias didácticas en las que se han encaminado las propuestas educativas. Principalmente, siete de los once estudios se han desarrollado en la escuela primaria, mientras que cuatro se han implementado en la secundaria. Para Mafra (2012) el abordaje en este nivel se vincula como parte del estudio de un reconocimiento preliminar del medio que nos rodea en las clases de Ciencias.

Mediante la tabla 2 relaciono el enfoque del contenido disciplinar con el número de estudios y el nivel de escolaridad en el que se presenta. Debo resaltar que un mismo estudio puede estar asociado a dos contenidos disciplinares al tiempo.

Tabla 2.

Enfoque del contenido disciplinar de los estudios empíricos abordados. Elaboración propia.

Enfoque del contenido disciplinar	Estudios	Número de estudios	Nivel de escolaridad	
			Primaria	Secundaria
Morfología/observación	Rozo (2011) , Durango (2012) Cohen (2020)	3	1	1
Ecología	Rozo (2011) , Akl (2017) Mafra (2012)	2	1	1
(Bio)Tecnología	Lago <i>et al.</i> (2017) Khalil y Lazarowitz (2014)	3	2	1
Ambiente	Mafra (2012)		1	
Salud e higiene	Mafra (2012) Mafra, Lima y Carvalho (2015) Trejos y Bedoya (2019) Gómez y Yepes (2018) Molina <i>et al.</i> (2021)	5	5	

En cuanto al enfoque disciplinar que han guiado el abordaje de los microorganismos, cinco de los estudios empíricos han dado un énfasis a la salud y los hábitos de higiene, en su totalidad en la escuela primaria. En contraste, en la secundaria se abordan temas vinculados a la morfología, ecología y biotecnología de los microorganismos.

En la tabla anterior, destaco en **negrilla** los estudios de Rozo (2011) y Mafra (2012) como dos de los estudios que intentan relacionar dos aspectos disciplinares con relación a los microorganismos. En el trabajo de Rozo (2011), con escolares de secundaria, se relacionaron los elementos morfológicos con las funciones e interacciones con los seres humanos. El autor

concluye que se lograron identificar las características principales de los microorganismos que habitaban en diferentes ecosistemas, destacando que las interacciones entre las bacterias y el hombre iban más allá de la salud y la higiene, interviniendo en procesos ecosistémicos y biotecnológicos.

En el caso de la tesis doctoral de Mafra (2012), el abordaje de los microorganismos se realizó en la escuela primaria destacando la importancia tanto en la *tecnología* como en el *ambiente*, a través de cuatro componentes: microorganismos y mundo vivo, los microorganismos y los alimentos, su relación con la salud y su importancia en la industria, en la tecnología y en el ambiente. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren la importancia de incluir el papel de los microorganismos en las orientaciones curriculares, y para destacar las contribuciones del mundo microbiano para la vida. Además, este estudio involucra la visión de múltiples disciplinas derivadas de la biología para relacionarlas con la *microbiología*, como la *biotecnología* y la *ecología*.

Otro aspecto interesante se desarrolla en el trabajo de Khalil y Lazarowitz (2014), cuyos contenidos conceptuales estaban relacionados con *aspectos sociales*, como la fabricación de bebidas en la industria, el procesamiento de alimentos y sus aspectos económicos, y la cooperación mutua entre países vecinos para mejorar la economía y la agricultura. Los autores destacan la integración de cuestiones sociales junto con temas científicos y tecnológicos, combatiendo la ignorancia, los prejuicios y los conocimientos alternativos sobre los microorganismos.

Estos trabajos aportan sustancialmente a comprender el mundo microbiano desde una perspectiva interdisciplinar, aspecto recalcado por Rozo (2011) y Lago *et al.* (2017). Es decir, existe la necesidad de desarrollar propuestas educativas que intenten relacionar dos (o más) campos de conocimiento de la biología, y/o las ciencias sociales. De esta manera, los conceptos vinculados a los microorganismos podrían complejizarse en el aula de clases si se incorpora un eje estructurante como los que se proponen anteriormente, como la biotecnología, la ecología y la sociedad. De esta manera, se intenta, desde la interdisciplinariedad “*romper los límites entre una disciplina y otra*” (Lago *et al.*, 2017, p. 4110).

Otro de los aspectos que exploré en los estudios empíricos tiene que ver con el enfoque didáctico. Cuatro de los estudios se concentran en el trabajo práctico, como una estrategia que promueve el desarrollo de procedimientos y actitudes, a la par de los conocimientos disciplinares (Rozo, 2011; Mafra, 2012; Cohen, 2020); principalmente en la escuela primaria. Esta estrategia va acompañada de la ejecución de experimentos, como la elaboración de cultivos microbianos de las manos (Molina *et al.*, 2021), placa bacteriana de dientes (Mafra *et al.*, 2015) y la observación de microorganismos a través del microscopio (Mafra, 2012; Cohen, 2020). Muchas de las actividades experimentales que rodean al trabajo práctico están

relacionadas con la forma como trabajan los microbiólogos y las microbiólogas, que al principio puede ser una labor que resulta desgastante tanto para los y las docentes como para los y las estudiantes (Molina *et al.*, 2021). Sin embargo, el trabajo práctico podría contribuir a la confianza y al asombro sobre el mundo microbiano (Cohen, 2020). Mediante la tabla 3 específico el tratamiento didáctico de los microorganismos en los estudios revisados.

Tabla 3.

Enfoque del contenido disciplinar de los estudios empíricos abordados. Elaboración propia.

Enfoque didáctico	Estudios	Número de estudios	Nivel de escolaridad	
			Primaria	Secundaria
Aprendizaje significativo	Durango (2012)	1		1
Trabajo práctico	Mafra (2012) Mafra et al. (2015) Cohen (2020) Molina <i>et al.</i> (2021)	4	3	1
Enseñanza basada en la indagación	Akl (2017) Trejos y Bedoya (2019)	2	1	1
Modelo STEP (Ciencia, Tecnología, Ambiente y Paz)	Khalil y Lazarowitz (2014)	1		1
Aprendizaje Basado en Proyectos	Gómez y Yepes (2018)	1	1	
Ecléctica	Lago <i>et al.</i> (2017) Rozo (2011)	2	1	1

Por otro lado, el trabajo de Khalil y Lazarowitz (2014) aborda el mundo microbiano desde el enfoque STEP (*Science, Technology, Environment and Peace*), cuyo énfasis se centra en fortalecer la dimensión afectiva: cooperación, apreciación por el trabajo de otros y su esfuerzo, la autoconfianza, la tolerancia, la competencia y la paciencia. Esta modalidad tuvo como resultado que las *actitudes* de los y las estudiantes sobre la paz se afectaran de manera positiva, en el contexto de los contenidos relacionados con los microorganismos y su papel en aspectos sociales.

Dos de los trabajos presentaron un enfoque didáctico que llamo “ecléctico”, es decir, estudios que combinaron dos propuestas didácticas al tiempo. Por ejemplo, Rozo (2011) establece el uso de los **trabajos prácticos** junto con el aprendizaje significativo, dos enfoques didácticos distintos pero que se complementan entre sí. Por un lado, define a los trabajos prácticos como actividades que promueven *procedimientos científicos*, y por el otro, evidencia al aprendizaje significativo como una estrategia para relacionar los conocimientos sustancialmente, y de forma no arbitraria con aquello que ya sabe para estructurar aspectos esenciales desde lo *cognitivo*.

En contraste, la propuesta de Lago *et al.* (2017) combina distintos elementos. Al inicio define elementos desde la **historia de la biotecnología**, para después desarrollar un **trabajo práctico** en el laboratorio en el que vincula el papel de las bacterias en el ambiente y las levaduras en la producción de alimentos como el quesoponillo. Concluyen mencionando la importancia de consolidar las prácticas desde el contexto de los y las estudiantes participantes, pues el interés por los microorganismos podría surgir de su extrañeza, afectando considerablemente nuestra existencia.

En suma, en los estudios empíricos encontré que existe una prelación de las actividades experimentales desarrollados a través de los **trabajos prácticos** y las tareas basadas en la indagación, a causa de las dificultades existentes para abordar fenómenos biológicos en organismos que parecen invisibles a los ojos de los y las estudiantes (Durango, 2012). Estas estrategias didácticas tienen una estructura similar, pues tratan de replicar el proceso de generación del conocimiento científico de la microbiología en el contexto de la escuela al plantear y formular preguntas iniciales a partir de una situación problemática, generar hipótesis o predicciones, desarrollar observaciones a través de la experiencia, registrar y analizar los resultados comparándolos con las predicciones iniciales, reflexionar y concluir.

2. Estrategias y habilidades del pensamiento desarrolladas: Observando y describiendo el mundo microbiano

Otro aspecto explorado en la revisión de los estudios empíricos está relacionado con las estrategias y *habilidades del pensamiento* que se desarrollan. En la mayoría de los casos, estas habilidades son explícitas por parte de los autores, y hacen parte tanto de la propuesta didáctica, como de los resultados obtenidos. Así mismo, encontré que en varios de los estudios se desarrollaron diferentes habilidades. Sin embargo, en las investigaciones realizadas por Akl (2015) y Gómez y Yepes (2018) he inferido las habilidades desarrolladas a partir de la lectura analítica de los textos. Así, en la tabla 4, relaciono las habilidades desarrolladas con los estudios y el nivel de escolaridad en las que se desarrollan.

Tabla 4.

Relación entre los estudios, las habilidades desarrolladas y el nivel de escolaridad. Elaboración propia.

Habilidades desarrolladas	Estudios	Número de estudios	Nivel de escolaridad	
			Primaria	Secundaria
Observación	Mafra (2012) Mafra et al. (2015) Akl (2015) * Durango (2012)	6	3	3

Habilidades desarrolladas	Estudios	Número de estudios	Nivel de escolaridad	
			Primaria	Secundaria
Descripción	Khalil y Lazarowitz (2014)	4	3	1
	Lago et al. (2017)			
	Mafra (2012)			
	Mafra et al. (2015)			
	Akl (2015) *			
Trejos y Bedoya (2019)				
Formulación de hipótesis	Durango (2012)	3	2	1
	Gómez y Yepes (2018) *			
	Lago et al. (2017)			
Comparación	Cohen (2020)	1		1
Interpretación	Mafra et al. (2015)	1	1	
Predicción	Mafra et al. (2015)	1	1	
Elaboración de preguntas	Rozo (2011)	3	2	1
	Mafra et al. (2015)			
	Lago et al. (2017)			
Búsqueda de bibliografía	Mafra (2012)	1	1	

*Se infiere el desarrollo de esta habilidad a partir de la lectura analítica del texto.

En términos generales, seis de los estudios desarrollan la observación, tres de ellas en la escuela primaria y dos en la secundaria. Cuatro de los estudios incorporan elementos relacionados con la descripción (textual o gráfica), tres en la primaria y dos en la secundaria. Así mismo, la formulación de hipótesis está presente en tres estudios, dos en la primaria y uno en la secundaria; y la elaboración de preguntas se desarrolla en tres estudios, dos en la primaria y uno en la secundaria. Otras habilidades se desarrollan de forma minoritaria, como la comparación (en la secundaria), la interpretación, la predicción y la búsqueda de bibliografía (en la primaria).

De esta manera, en el marco del análisis de los estudios empíricos se favorecen distintas habilidades como la observación, la descripción, el planteamiento de hipótesis y el análisis de pruebas. Estas habilidades están relacionadas con la intención de aproximar a los y las estudiantes a las acciones que están asociadas a la consolidación del conocimiento científico. Por ende, los abordajes didácticos y disciplinares vinculados con los microorganismos van más allá de los conceptos y términos, buscando su extensión hacia lo *procedimental* y lo *metacognitivo*. No obstante, dos habilidades en particular que tienen una relación y se presentan en común en los trabajos revisados son la **observación** y la **descripción**.

Por un lado, la **observación** contribuyó a aproximar a los y las estudiantes a los microorganismos por medio de instrumentos como lupas y microscopios, relacionando directamente a estos seres con los y las estudiantes con el mundo que les rodea (Durango, 2012); demostrando entusiasmo, asombro y admiración por lo que se observa (Mafra, 2012).

Un primer nivel de observación es la *percepción*, como una acción confronta los sentidos con el movimiento, la morfología y el tamaño de estos organismos (Rozo, 2011; Durango, 2012).

Este proceso se ha llevado en dos niveles. Un primer nivel es el *microscópico*, realizado a través de instrumentos (lupas o microscopios); y un segundo nivel es el *macroscópico*, en la que se observan las condiciones ambientales, así como el medio en el que pueden crecer los microorganismos. Ambos niveles son complementarios, y resultan ser indispensables para complementar detalles de la observación que realiza el estudiantado; a partir de lo concreto a lo abstracto, desarrollando el registro, la enumeración y comparación de los datos y la comunicación de ideas. Por otro lado, otra habilidad en común es la **descripción**, que documenta las observaciones elaboradas, a través de representaciones gráficas o escritas y que pueden denotar características positivas y relaciones entre otros organismos o hábitats, para dar sentido a los aprendizajes.

De esta manera, la exploración de los estudios empíricos sugiere que tanto la *observación*, como la *descripción* son dos habilidades complementarias. Esta relación se explica en Mafra (2012), estableciendo a la observación como una *habilidad adquisitiva*, que se incorpora en el sistema cognitivo de los y las estudiantes de forma progresiva; y la descripción, como una *habilidad comunicativa* que intenta relacionar las observaciones con la teoría y las percepciones instaladas cognitivamente, determinando la relación intrínseca entre estas dos capacidades para considerar a la diversidad de microorganismos, consolidando el aprendizaje a través de habilidades psicológicas como la atención, la percepción y la reflexión (Ramírez, 2017).

Por lo tanto, las actividades prácticas derivadas de la experimentación y de la indagación privilegian habilidades en los y las estudiantes, que tienen una relación entre sí. Estos procesos están inmersos en el mismo carácter científico del contenido disciplinar de los microorganismos, y se dividen en dos tipos: habilidades cognitivo-lingüísticas y habilidades “adquisitivas” o “psicológicas” (Mafra, 2012; Ramírez, 2017). Lo anterior, lo esquematizo a través de la figura 3, que muestra la interacción entre la observación con los niveles macroscópico y microscópico, y la descripción con representaciones gráficas y textuales, construido a partir de las experiencias empíricas de implementar actividades relacionadas con la diversidad de microorganismos. Igualmente considero a la percepción y el registro como habilidades “intermedias”, que dan apertura a los sentidos involucrados para llevar a cabo las habilidades centrales.

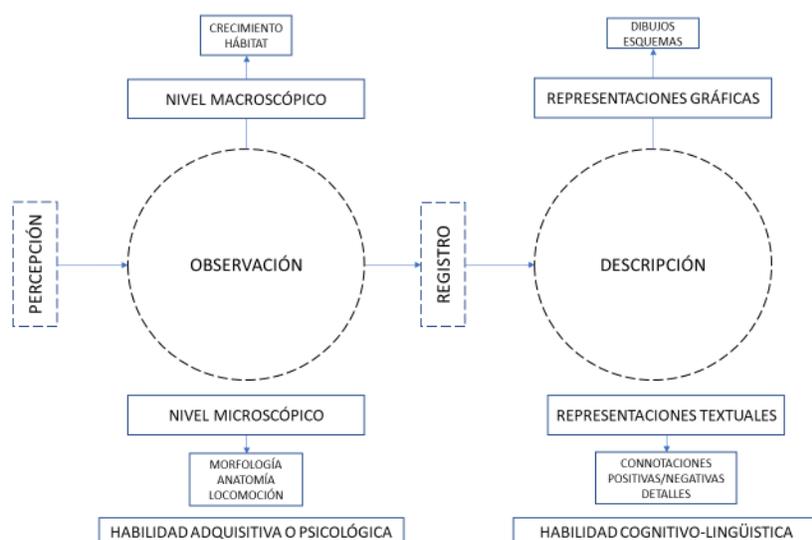


Figura 3. Relación entre la observación y la descripción, a partir del análisis de los estudios empíricos sobre el abordaje de los microorganismos en la escuela. Elaboración propia.

Estas habilidades podrían proveer a la observación de un carácter complejo, pues está asociada a habilidades cognitivo-lingüísticas y a estrategias del pensamiento adquisitivo que contribuirían potencialmente a que los y las estudiantes reflexionen sobre lo que se observan, establezcan estrategias para la selección de información construyendo los referentes teóricos de los cuales se apoyarán para elaborar las interpretaciones.

3. Dificultades, retos y oportunidades de explorar el mundo de los microorganismos en el aula de clases

Abordar el mundo microbiano en la clase de biología ha tenido diversas dificultades, algunos retos y oportunidades. En esta sección menciono algunas de ellas, provenientes de la lectura crítica de los estudios.

Una de las dificultades que encontré en la exploración de los estudios empíricos está relacionada con la comprensión posterior de las nociones disciplinares vinculadas al mundo microbiano, y su relación con el medio natural (Mafra *et al.*, 2015). Otro conflicto que encontré está anclado a la naturaleza del trabajo práctico. Mafra (2012) señala que, aunque esta estrategia propicia espacios de libertad para el desarrollo personal y social en la clase de biología para la construcción de caminos personales para llegar al conocimiento científico, hay dos problemas que se desglosan: la escasa vinculación de los experimentos a la cultura popular y al contexto social; y el carácter mecanicista que puede resultar el enfoque hacia lo procedimental. Por ende, Furman (2016) establece que es importante acercar a los estudiantes a prácticas auténticas de cada disciplina, esto es, exploraciones de la naturaleza que les pueda

causar intriga, con acompañamiento del docente, como una oportunidad para que trabajen en “*comunidades de aprendizaje*”, con un sentido personal, marcando el rumbo, guiando y sistematizando lo aprendido.

En contraste, algunos estudios empíricos dan algunas ideas para superar estos obstáculos en la aplicación de trabajos prácticos en la enseñanza de los microorganismos. Trejos y Bedoya (2019) indican que a partir del trabajo práctico se forma el pensamiento científico crítico de los y las estudiantes, participando en la toma de decisiones para el cambio de hábitos, formando hacia la confianza y la aceptación de sí mismos como sujetos responsables del cambio, y a la mejora de la calidad de vida. Por su parte, en la experiencia de Akl (2017) se concibió a la evaluación del trabajo práctico como un proceso de reflexión sobre lo que han aprendido de forma consciente mediante el uso de fotografías de lugares donde pueden encontrarse los microorganismos.

En cuanto a las oportunidades, Cohen (2020) destaca que los microorganismos podrían ser un modelo biológico ideal para comparar y contrastar con las plantas o los animales. Es así que, el énfasis de este abordaje en el preescolar o en la primaria se da basada en la reflexión sobre el autocuidado en las acciones cotidianas (la importancia del lavado de manos para evitar enfermedades infecciosas y de la potabilización del agua, el cepillado de dientes para prevenir la caries dental); mientras que en la escuela secundaria se explicita el papel de los microorganismos tanto en los procesos ecológicos (como la degradación de material orgánico en los suelos y aguas estancadas) como en los biotecnológicos (elaboración de alimentos y bebidas fermentadas, generación de antibióticos y vacunas).

Uno de los retos que sobresale de los estudios empíricos está vinculado a la necesidad de abordar los conocimientos disciplinares desde una perspectiva *interdisciplinar*; es decir: relacionar los conceptos de la microbiología con otras disciplinas de la biología, inclusive, de las ciencias sociales. Aún persiste una perspectiva enfocada hacia los perjuicios y los beneficios de los microorganismos, a pesar de que se promueven habilidades cognitivo-lingüísticas que fomenten una posición crítica en los y las estudiantes, y, por ende, una alfabetización científica en microbiología. Además, la interacción con la sociedad, el análisis de situaciones particulares, los intereses y las actitudes en la escuela son fundamentales para la formación de un pensamiento crítico de los y las estudiantes en la clase de biología.

Los microorganismos tienen un papel fundamental en multiplicidad de procesos naturales, pero además han tomado protagonismo desde un punto de vista *biotecnológico*, pero también ancestral, cultural y social: están involucrados en la elaboración de alimentos, y al reconocer estos aspectos debe haber una vinculación con la cultura popular. Estas visiones pueden contribuir a una visión más amplia en la escuela, compartiendo las ideas construidas dentro del aula con padres de familia, e inclusive, con otras formas de pensar el mundo microbiano.

Frente a la observación como acción central para visualizar la vida microbiana, existe una limitación relacionada con las pocas oportunidades que tienen los y las estudiantes de reflexionar sobre lo que observan, un aspecto que es mencionado por Ramírez (2017) en el que se promueve la observación concibiéndola como habilidad procedimental. Esta relación tiene que ver con la carga teórica que poseen las observaciones (Hanson, 1977), desde el punto de vista de la naturaleza de las ciencias. Considero que es un aspecto que debo seguir discutiendo a lo largo del diseño del material educativo definitivo. Motivar las reflexiones sobre lo que se observa o lo que se describe puede ser un aspecto que, según Ramírez (2017) deben fomentarse en la evaluación de procedimientos en el contexto de la diversidad de los microorganismos. Por lo tanto, considero que sería un reto propiciar el cambio en la visión de construir ciencia, pues las transformaciones no se centran en los conocimientos que cimientan a la biología sino en los procesos que se dan para llegar a ellas (Durango, 2012; Lago *et al.*, 2017).

4. En síntesis: áreas de oportunidad y relación con el proceso de diseño y rediseño

La revisión de los estudios empíricos sobre la enseñanza de los microorganismos en la escuela aportó elementos importantes para el desarrollo de este trabajo. Puntualmente, la exploración del mundo microbiano se lleva a cabo en la escuela primaria, cuyo contenido disciplinar se concentra en la salud y la higiene como parte del reconocimiento del medio. Mientras que, en la secundaria los contenidos se concentran en la morfología, la ecología y la biotecnología. Otras perspectivas apuntan a la integración entre cuestiones biológico-sociales a la enseñanza de la microbiología, que invitan a generar propuestas para comprender el mundo microbiano desde lo interdisciplinar, pues es necesario complejizar los conceptos vinculados a los microorganismos a partir de ejes estructurantes que se desliguen de las ideas lineales basadas en los beneficios o perjuicios.

Por otro lado, el enfoque didáctico que se privilegia está relacionado con los trabajos prácticos derivados de procesos basados en la indagación, asociado a las dificultades de observación del mundo microbiano. Sin embargo, esta estrategia intenta replicar la generación de conocimiento científico de la microbiología en las escuelas, promoviendo variadas habilidades cognitivas. Dos de esas habilidades se concentran en la observación y la descripción, considerándose habilidades complementarias. En ese sentido, la revisión de literatura me permite pensar en la observación como una habilidad compleja, que contribuiría a reflexionar sobre el objeto que se observa (Ramírez, 2017). Además, Rodríguez (2021) argumenta que el hecho de observar está anclado a otras habilidades, como la comparación y la descripción.

Las dificultades de abordar el mundo microbiano se centran en comprensiones posteriores sobre la relación entre el mundo microbiano y el medio natural, la desconexión aparente de

los trabajos prácticos a lo cultural y el enfoque mecanicista del ámbito procedimental. A pesar de ello, la revisión de literatura da algunas ideas para superar estos obstáculos: formación del pensamiento científico crítico hacia la confianza y la aceptación; y estrategias dinámicas de reflexión sobre el trabajo práctico.

Ahora bien, esta revisión contribuyó a refinar algunos elementos del material educativo, tanto de la primera versión como el rediseño. Específicamente, en la *primera versión*, los que se relacionan con los trabajos prácticos y las estrategias para fomentar la observación como habilidad central; así como fortalecimiento de la perspectiva de “biodiversidad” que propuse al inicio de este proyecto, reconociendo la diferencia desde lo morfológico enfocándome en el reino protista.

Otros aspectos de esta revisión contribuyeron a mejorar el *rediseño* del material educativo. Por ejemplo, elementos detectados sirvieron para complementar el análisis de la exploración del pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos, y del juicio de expertos, como: la importancia de detectar y complejizar las ideas previas de escolares mediante el pensamiento, las notables diferencias entre la primaria y la secundaria, las perspectivas hacia el trabajo práctico; y la incorporación de estrategias de reflexión sobre la habilidad de la observación científica. En la planeación didáctica, la introducción de nuevos puntos de vista implica la construcción de un marco teórico para fomentar la observación como habilidad central.

CAPÍTULO 3. Construyendo una perspectiva de la enseñanza de la microbiodiversidad a partir de la filosofía: marco conceptual

*“Voy pisando fósiles, no me dejarán caer,
un mundo microscópico me sostiene los pies (...)”*
Gustavo Cerati. Fuerza Natural.

En este capítulo desarrollo los elementos teóricos que son clave en la elaboración de esta tesis. Comienzo con la construcción del concepto de microbiodiversidad y las implicaciones que tiene el abordaje de los microorganismos desde la perspectiva de la biodiversidad.

1. Hacia la construcción del concepto de microbiodiversidad: ¿Qué implicaciones tiene en el abordaje de los microorganismos desde una perspectiva biodiversa?

En el proceso de construcción conceptual de la microbiodiversidad, considero importante establecer algunos elementos cruciales que se vinculan a este concepto, como la alfabetización científica, la definición de los microorganismos y su visión desde la filosofía de la microbiología de Maureen O'Malley; y diversos puntos de vista sobre la diversidad y su relación con la microbiología.

1.1. La alfabetización científica en microbiología

En este apartado comento brevemente algunas perspectivas que intentan clarificar la importancia de la microbiología en el ámbito de la *alfabetización científica*. Posteriormente, destaco la posibilidad de un abordaje *interdisciplinar* como parte de una microbiología para comprender la significancia de la vida y la necesidad de esta formación para la toma de decisiones informadas. Finalmente, señalo los obstáculos y los retos que deben afrontarse para una formación sólida en esta disciplina en la educación secundaria.

En primera instancia, Black y Black (2015) definen a la microbiología como el estudio de los microorganismos. Su característica más particular es el tamaño, pues son tan pequeños que es necesario el uso de un microscopio para estudiarlos. Sin embargo, el trabajo de los microbiólogos y las microbiólogas se ha extendido a campos como la genética, la medicina, la biotecnología y la bioquímica.

En este sentido, una alfabetización científica en microbiología se hace necesaria, debido a que está inmersa en nuestras actividades cotidianas con un impacto diario en todos los ámbitos de nuestras vidas. Al respecto, Timmis *et al.* (2019) establecen que esta preponderancia involucra las decisiones que tomamos, y su relación con las nociones sobre el mundo microbiano: *“las decisiones que involucran la actividad microbiana son frecuentemente opacadas, y la información disponible es parcializada e incompleta. En*

consecuencia, a pesar de que se tomen decisiones basadas en evidencias, no suelen responder a resultados imprevistos o resultan desfavorables” (p. 1514, traducción propia).

De esta manera, Timmis *et al.* (2019) explican que la toma de decisiones por parte de las personas requiere tener en cuenta el conocimiento que involucra a los microorganismos y que provienen de la microbiología, pues esta alfabetización es necesaria para la formación de los ciudadanos y las ciudadanas del mundo. Para Lago *et al.* (2017) las propuestas didácticas deben partir del interés de los y las estudiantes para promover la “cultura científica” en conocimientos vinculados a la microbiología.

Por ende, la alfabetización científica en microbiología ha abogado por perspectivas más complejas y sistémicas que consideren a los microorganismos como los seres más abundantes del planeta tierra, por lo que interactúan con otras formas de vida. Hoy en día, la ciencia reconoce el rol esencial de estos organismos en la aparición y en el mantenimiento de la vida en la tierra (Fraga, 2018).

Bajo este panorama, considero que la alfabetización en microbiología requiere un esfuerzo importante para la formación de una ciudadanía informada, consciente de la riqueza biológica de los microorganismos bajo perspectivas más amplias, fomentando habilidades que cultiven en los y las estudiantes la reflexión sobre su observación. Por ende, la popularización de la microbiología sea una prioridad para enfatizar su importancia en el mantenimiento de la vida en la tierra, mostrando el rol de los microorganismos en la evolución de la vida en la tierra.

1.2. Definiendo la noción de “microorganismo”

Ontológicamente, el término “microorganismo” (equivalente a la de “*microbe*” -microbio en inglés-), se refiere a una palabra que generaliza a toda la vida microscópica, usualmente unicelular. Este concepto también engloba a las agregaciones visibles de vida unicelular, como las biopelículas o las colonias. Se suelen incluir a los *organismos procariotas* (como las eubacterias y las arqueas -arqueobacterias) y *eucariotas* (como los protistas y los microhongos). En ocasiones, se incluyen a los virus en esta clasificación, pues este término no tiene un carácter taxonómico *sensu stricto* (Capello, Donovaros y Giono, 2000; O’Malley, 2014; O’Malley y Parke, 2020). Desde las ciencias, el campo disciplinar que se encarga del estudio de estos seres es la microbiología, debido a que son parte del ambiente y salud humana (Black y Black, 2015).

Específicamente, hay diversos términos que se asocian a los microorganismos, como: procariota, eucariota, bacteria, *archaea*, protista y virus. En la tabla 5 se sintetizan algunas palabras del ámbito disciplinar.

Tabla 5.

Algunos términos de la microbiología. Adaptado de O'Malley (2014, p. 2), traducción propia.

Término	Definición
Microbio/Microorganismo	Término general para referirse a la vida microscópica y usualmente unicelular. Incluye agregaciones visibles de vida unicelular. Ocasionalmente incluye a los virus.
Procariota	Vida unicelular con una estructura y organización intracelulares flexibles con compartimentos limitados o poco reconocidos.
Eucariota	Formas de vida unicelular o multicelular con muchos procesos reconocidos y compartimentos definidos en cada célula.
Eukarya	Es uno de los tres dominios de la naturaleza. Incluyen tanto a seres microscópicos como a los macroscópicos, con célula eucariota.
Bacteria	Es uno de los tres dominios de la naturaleza. Además, es uno de los dos grupos principales de procariotas, también conocidos como eubacteria. Dentro de este grupo se distinguen cinco clases: Actinobacteria, Firmicutes, Proteobacteria, Cyanobacteria y Bacteroidetes.
Archaea	Es uno de los tres dominios de la naturaleza y uno de los dos grupos de procariotas, también conocidos como archaeobacteria.
Protista	Cualquier eucariota unicelular, excepto los hongos unicelulares, como la levadura (generalmente excluidos <i>-microhongos-</i>). Algunas veces se incluyen algas multicelulares.
Virus/bacteriófago	Entidades en evolución no celulares capaces de utilizar células para la reproducción. Los virus usan células eucariotas; bacteriófagos ("fagos") utilizan células procariotas. Sin embargo, el término más inclusivo sigue siendo virus.

1.3. Aspectos evolutivos y papel de los microorganismos en la vida diaria

Los microorganismos son la forma de vida más importante, diversa y antigua de nuestro planeta. La existencia de estos seres permitió que las condiciones químicas del planeta cambiaran para la formación de otras formas de vida. Además, son los seres más abundantes, pues hacen parte de los tres dominios de clasificación taxonómica: **arquea** (arqueobacterias), **eukarya** (protozoos, levaduras y otros microhongos) y **bacteria** (todas las diversas formas bacterianas -cocos, bacilos, espirilos, etc.) (Black y Black, 2015; Ingraham, 2019). En la figura 4 se muestra un árbol filogenético en el que se relacionan los tres dominios, con los reinos de la naturaleza. Mediante las líneas rojas, indico la vida microbiana que está presente en los tres dominios.

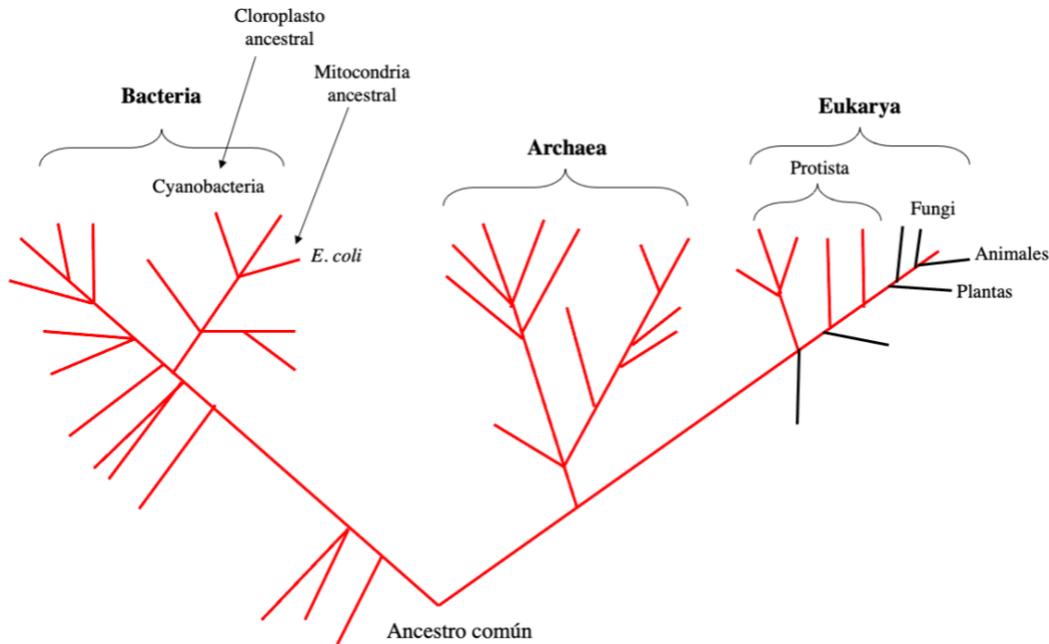


Figura 4. Los tres dominios de clasificación natural. Imagen extraída y adaptada de Ingraham (2019, p. 8).

La existencia de los microorganismos es indispensable para nuestra propia existencia: existimos en cuanto ellos existen. Ingraham (2019) apunta que todas las plantas y animales, incluidos los seres humanos, dependemos directa o indirectamente de la acción microbiana, por lo que desapareceríamos sin la intervención de los microorganismos. Así mismo, el mundo microbiano ha sido explorado y explotado para diversos propósitos de la vida cotidiana de los seres humanos.

Para Montaña *et al.* (2010), los microorganismos intervienen en el funcionamiento y el mantenimiento de los territorios mediante la descomposición de materia orgánica y el ciclo de los nutrientes, como el nitrógeno y el azufre. Además, son utilizados en procesos biotecnológicos para la industria farmacéutica, alimenticia y médica. Muchos de los servicios ambientales, en un país megadiverso como México, se enfocan en la elaboración de alimentos que pertenecen a la cultura alimenticia del país, como el aguamiel, el pulque o el tepache.

Por otro lado, las enfermedades bacterianas como la salmonelosis o la tuberculosis, producidas por las que se consideran como “bacterias oportunistas”, se ha producido por la constante interacción con los seres humanos, pues hay condiciones que han garantizado la adaptación tanto en los microorganismos, como en los seres humanos, por ejemplo: la capacidad de consumir agua, y la alimentación mediante carbohidratos (principalmente azúcares) (Montaña *et al.*, 2010).

Estos aspectos se incorporaron en el *diseño preliminar* del material educativo, al establecer algunas relaciones desde la biotecnología, estableciendo como un ejemplo la elaboración de pan, que permite explicar dos procesos: la **fermentación**, fundamental para la alimentación humana y en la que están involucrados las levaduras (*Saccaromyces cerevisiae*), y la existencia de los protozoos (Reino protista) como **bioindicadores** de riqueza de oxígeno. Otras relaciones que se exploran están vinculados a los microorganismos que habitan en el **rostro humano** (*Cutibacterium acnés*), asociados a la producción de acné, el desarrollo de la **penicilina** (*Penicilium sp.*), y las **bacterias nitrificantes** asociadas a las leguminosas (*Nitrobacter sp.*).

En la tabla 6, sintetizo estas primeras relaciones incorporadas en el diseño preliminar, como punto de partida para analizar las relaciones entre los microorganismos y los humanos.

Tabla 6.

Síntesis de las relaciones microbianas incorporadas en el diseño preliminar del material educativo.

Proceso	Descripción	Microorganismos involucrados
Fermentación	Se define como un proceso bioquímico catabólico (de degradación) y anaeróbico (en ausencia de oxígeno) en el que una sustancia química orgánica se transforma en otra, más sencilla. En el caso de la elaboración de pan, se usa la levadura, que transforma el azúcar en alcohol y en CO ₂ (Madigan, Martinko y Parker, 2007).	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , microorganismo del reino fungi, eucariota, unicelular con características pluricelulares.
Bioindicador	Son organismos que, por sus características, como sensibilidad a perturbaciones ambientales, distribución, abundancia... pueden <i>usarse</i> como estimadoras de las condiciones ambientales o del estado de otras especies de un lugar determinado (González <i>et al.</i> 2014).	Protozoos y algas , microorganismos del reino protista, eucariotas, unicelulares, con respiración aerobia. Pueden ser autótrofos y heterótrofos.
Asociados al acné	Son microorganismos que se localizan en los folículos sebáceos de los humanos, constituyendo la microbiota natural de la piel. Al existir un desequilibrio entre <i>Staphylococcus epidermidis</i> y <i>Cutibacterium acnés</i> se produce inflamación de estos folículos, provocando el acné (Ibarra-Morales <i>et al.</i> 2018).	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Cutibacterium acnés</i> Microorganismos bacterianos, anaeróbicos, de la familia Actinobacteria.

Proceso	Descripción	Microorganismos involucrados
Antibiótico	Sustancia química que es producida por un microorganismo que mata o inhibe el crecimiento de otro microorganismo. La penicilina, por ejemplo, es un antibiótico que fue descubierto por serendipia por el médico británico Alexander Flemming (Madigan, Martinko y Parker, 2007).	<i>Penicillium</i> , microorganismo del reino fungi, hongo filamentosos y eucariota.
Nitrificación	Este proceso, realizado por bacterias quimioautótrofas (que procesan diferentes sustancias químicas), que hacen parte del ciclo del nitrógeno, para obtener energía a partir de compuestos nitrificantes, como el nitrato (NO ₂), el nitrito (NO ₃) y el amonio (NH ₄).	<i>Nitrobacter</i> , microorganismo bacteriano aeróbico y quimioautótrofo que está asociado a plantas leguminosas como el frijol.

Sin embargo, estas relaciones atienden a visibilizar dos sentidos de la acción microbiológica: el beneficio o el perjuicio; o la salud y la enfermedad; en un sentido unidireccional. Tanto Ingraham (2019), como O'Malley (2014) explican que estas relaciones deben ser flexibilizadas, pues ayudarían en gran parte a comprender cómo actúan los microorganismos y porque habría que hablar de una conservación microbiana. Por lo tanto, me apoyo en la propuesta de O'Malley (2014), que invita a concebir la flexibilidad de relaciones, desligándose del modelo antropocéntrico del mundo microbiano.

2. La propuesta de O'Malley: Pensar los microorganismos desde la filosofía de la microbiología

La filosofía de la microbiología es una rama de la filosofía de la Biología. Más específicamente, es un intento por comprender y/o relacionar los eventos del microbioma, el microbiota y los microecosistemas desde elementos que se han estudiado en este campo. Maureen O'Malley, en su texto "*Phylosophy of Microbiology*" (2014) aborda la perspectiva filosófica de la microbiología desde la **biodiversidad**, la **biogeoquímica**, la **evolución**, y la **simbiosis**. Estos campos disciplinares se desarrollan de forma independiente como parte de algunos problemas filosóficos específicos en la microbiología. Así mismo, declara que el uso de los microorganismos en *modelos filosóficos* conlleva al reconocimiento de que los humanos no somos la cima de la evolución.

De esta manera, O'Malley (2014) define a los **microorganismos** como un término general usado para agrupar la vida microscópica y usualmente unicelular que incluye agregaciones visibles de la vida unicelular, como las biopelículas y las colonias. Ocasionalmente se incluyen a los virus (a pesar de que rara vez son incluidos como seres vivos en la vía del mundo celular). Cuando se discute sobre el mundo microbiano, no se refiere al mundo del laboratorio de microbiología, sino al amplio y diverso mundo de microorganismos alrededor del planeta. Este mundo ampliamente desconocido interactúa de forma compleja con entidades microscópicas y macroscópicas, incluyendo la geoquímica de la tierra.

Otro elemento que O'Malley destaca dentro de la filosofía de la microbiología es el sentido de las relaciones entre los microorganismos y los “macroorganismos”, desde la *colaboración* y la *reciprocidad*. La colaboración es un término que se emplea para describir la flexibilidad de las relaciones simbióticas desde la inclusión y la exclusión, involucrando relaciones taxonómicas dinámicas y no fijas, a pesar de la connotación positiva o negativa que podamos otorgarles (O'Malley, 2014).

Esta perspectiva “*colaborativa*” entre los microorganismos y los demás organismos vivientes ofrece una oportunidad para considerar a este colectivo el estatus de “unidad evolutiva”. Esta visión invita a una mejor comprensión de los procesos colaborativos entre los organismos, y que los microorganismos siempre estarán envueltos en estas asociaciones, sin importar cual sea el enfoque. Además, representa explorar áreas disciplinares que intenten responder con profundidad a preguntas sobre la individualidad biológica y evolutiva, así como sobre la naturaleza de la vida (O'Malley, 2014).

3. Problemas de la filosofía de la microbiología que se relacionan con la educación

Para O'Malley (2016) pensar filosóficamente los fenómenos microbianos podría proveer a los alumnos recursos para pensar con claridad, argumentar con cuidado y tratar adecuadamente los temas difíciles. Así mismo, invita a debatir el papel natural de los microorganismos desde tres problemas principales: la *clasificación* y su *importancia*, la *causalidad* y la *modelización* de fenómenos macroscópicos a partir de los fenómenos microscópicos. A continuación, presento tres preguntas situadas en la historia y la filosofía para entender a los microorganismos, relacionadas a los problemas mencionados anteriormente:

- *Clasificación y su importancia. Por ejemplo, ¿qué son las especies? ¿y por qué las necesitamos?*

Este problema está asociado a la historia de la microbiología en la era de la experimentación. Antoine von Leeuwenhoek y Robert Hooke (el primero comerciante, y el segundo

científico) fueron los primeros que observaron pequeñas formas de vida. Para O'Malley (2016) algo que resulta cuestionable (y que antes no lo era) *es el hecho de que la microbiología se refiere a la vida celular que solo puede ser vista microscópicamente* (p. 2). Apoyados en Cavendish (2001), establece que la propia necesidad de microscopios significaba que no se trataban de verdaderas observaciones, sino de meros artefactos tecnológicos.

Posteriormente, la clasificación detallada realizada por *Carl Linneo* y *Otto Friedrich Müller*, contribuyó a agrupar a los microorganismos en plantas y animales. A partir de estas clasificaciones, se consideró que la naturaleza de los microorganismos exigía categorías taxonómicas nuevas. Estos nuevos intentos presentaron obstáculos como el *pleomorfismo* (alteración de la forma), hasta la invención de los cultivos mediante la microbiología experimental, mediante la dupla *Koch-Pasteur*. En el siglo XX, los debates sobre lo “natural” de las entidades microbianas trascendieron de lo morfológico a lo molecular, cuando intervino la metagenómica (O'Malley, 2016).

- *La causalidad: ¿cómo sabemos que los microorganismos causan cosas? ¿cómo se diferencian?*

La síntesis moderna (en la comunidad científica de la biología) rechazó a los microorganismos por considerarlos demasiado diferentes, pues no se entendía de qué manera los microorganismos actuaban sobre otras entidades vivas, hasta cuando se definió la *teoría microbiana de la enfermedad*. Sin embargo, la biología molecular ofreció un plano de mayor igualdad con lo microscópico, cuando incursionó la metagenómica, al indagar los efectos causales producidos por comunidades microbianas complejas, dilucidando sobre la microbiota y los patrones de asociación ecosistémica (O'Malley, 2016).

El problema de la causalidad está relacionado a lo establecido por David Hume: “*las causas en si mismas no podían ser observadas*”. No obstante, las investigaciones sobre las comunidades microbianas definieron la causalidad en las interacciones de la microbiota. En este sentido, se llegó a la conclusión que en un solo lugar pueden existir múltiples microorganismos diferenciados. Afirma O'Malley (2016) que la comprensión de esta cuestión podría contribuir en la transición de un trabajo descriptivo a uno más explicativo.

- *¿Cuál es la naturaleza de la modelización, en el sentido de que los sistemas modelo-microbianos pueden utilizarse para comprender los fenómenos de los macroorganismos?*

Muchos procesos eucarióticos pueden entenderse en general en modelos procariotas. Nadie dice que los procariotas tienen las mismas características y capacidades (evolución social, toma de decisiones y desarrollo multicelular) (O'Malley, 2014). En este sentido, los

microorganismos podrían ser modelos potenciales para entender los fenómenos que ocurren macroscópicamente, para ser trabajado en el ámbito educativo: “*como los microorganismos "más simples" pueden representar eficazmente a los organismos más grandes y complicados*” (O’Malley, 2016, p. 3).

Así las cosas, la filosofía e historia de la microbiología aportan elementos teóricos importantes para considerar una biodiversidad de microorganismos, que complejice las relaciones lineales motivadas por la dicotomía de salud-enfermedad, y que provienen de la historia emergente de la disciplina. En primera instancia, es importante reconocer que no somos la cima de la escala evolutiva: el pensamiento filosófico invita a visibilizar el mundo microbiano desde una perspectiva colaborativa, flexibilizando las relaciones simbióticas. Esta flexibilización permite establecer la relación entre los macroorganismos y los microorganismos en términos de “unidad evolutiva”.

4. Considerar a los microorganismos desde la biodiversidad

La construcción de la palabra “*microbiodiversidad*” implica establecer, en primera instancia, una definición de “diversidad”, de “biodiversidad”, hasta llegar a la biodiversidad de microorganismos. En este sentido, organizo esta revisión teórica, a partir de la definición de diversidad, las perspectivas sobre la diversidad biológica, y la conceptualización de la microbiodiversidad.

4.1. Los conceptos de diversidad y de biodiversidad en la educación en biología

Desde la perspectiva de la educación en ciencias, la diversidad es definida por García-Díaz y García-Pérez (2001) como un concepto *metadisciplinar* como un marco de referencia para la definición del conocimiento escolar; que tiene que ver con una visión sistémica que posibilita las relaciones e interacciones que conforman la realidad y la organizan. A su vez, estos autores definen la palabra *metadisciplinar* como un elemento que complejiza la visión disciplinar a partir de elementos provenientes de la naturaleza, la sociología y la historia de las ciencias. Desde lo axiológico, la diversidad reconoce otras formas de conocer el mundo, a partir del reconocimiento y el respeto a esta.

Para García-Díaz y García-Pérez (2001), la diversidad es un concepto estructurante que busca la transición desde una causalidad lineal a una causalidad más compleja; que se reorganiza constantemente y se estabiliza frente a un desequilibrio externo. Mientras que la causalidad lineal se establecen causas, efectos y retornos; desde la complejidad este concepto se estructura hacia el reconocimiento de una reciprocidad, en la que las relaciones se convierten en una espiral:

En efecto, la noción de interacción supone una causalidad basada en la *reciprocidad*, los procesos recurrentes, la influencia mutua, la renovación constante. En la interacción no hay una causa y un efecto, sino "un proceso en el que los efectos o productos al mismo tiempo son causantes y productores del proceso mismo, y en el que los estados finales son necesarios para la regeneración de los estados iniciales" (Morin, 1977, página 112 de la versión en castellano). Se trata de una causalidad "*en espiral*", pues nunca se vuelve al mismo punto, sino que se genera algo nuevo en cada ciclo, la determinación mutua genera el cambio. El carácter recurrente de esta causalidad implica también complementariedad, integración de los antagonismos (Morín, 1977 y 1980) (García-Díaz y García-Pérez, 2001, p. 8.).

Ahora bien, uno de los referentes clave para esta tesis está vinculada a entender la *diversidad* desde el ámbito *biológico*. Barraza (2005) afirma que esta característica ha permeado la escuela, que a su vez se relaciona con el respeto a las formas de vida, visión que se ha trasladado al currículo:

La escuela juega un papel relevante en la orientación del individuo hacia el respeto por la *naturaleza* y por todas las *formas de vida*, y es a través del educador que esto puede lograrse. Los programas educativos deben estar claramente dirigidos a establecer actividades que generen una sana interacción entre el niño y la naturaleza. Deben apoyarse en prácticas fuera del aula que fomenten la curiosidad, la exploración, la observación y la participación (Barraza, 2005, p. 240).

La diversidad desde la biología, o *biodiversidad*, es un concepto que ha tenido diferentes connotaciones a lo largo de la historia. Halffter (1995) argumenta que la biodiversidad se ha convertido en un paradigma para crear consciencia sobre su valor cultural y las consecuencias que traería consigo la pérdida de los recursos biológicos. De esta manera, el concepto de diversidad biológica ofrece una oportunidad para comprender la relación entre la sociedad y la naturaleza, que devienen de la crítica al desarrollo actual y a la búsqueda de modelos. Es así como "*la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida*" (p. 6). Este concepto se instauró en 1981 en la Conferencia Estratégica sobre Diversidad Biológica de Estados Unidos, estableciendo tres niveles jerárquicos de organización: genética (dentro de las especies), de especies (número de especies) y ecosistémico. A partir de este referente, múltiples autores han adaptado este término desde la educación en biología.

La biodiversidad se define como la propiedad que tienen los seres vivos de ser *diferentes*, que incluye las formas de adaptarse, relacionarse e interactuar con los ecosistemas y los seres humanos (Núñez, González y Barahona, 2003). Así mismo, este concepto otorga a los organismos características específicas que se entienden a la luz de la selección natural: "*La diversidad biológica confiere a los organismos pequeñas distinciones que determinan una*

sobrevivencia y reproducción diferencial, las cuales permiten la evolución de las especies a través de los procesos de selección natural” (Jiménez-Sierra, Torres-Orozco y Martínez, 2010, p. 9).

Para González (2020), la biodiversidad se define como aquello que debe conservarse por su valor intrínseco:

En algún sentido, teniendo en cuenta diferentes definiciones que he revisado, la biodiversidad podría entenderse como aquellos componentes de la diversidad biológica que se consideran dignos de ser conservados. Esta definición muestra claramente que eso que llamamos biodiversidad no es sólo alguna cuantificación de un rasgo del mundo físico, sino que se refiere a algo que consideramos valioso y por lo tanto digno de ser conservado" (González, 2020, 39:00).

Desde la alfabetización científica, García y Martínez (2010) consideran que la biodiversidad es un tema *emergente y multidisciplinario* (ciencias, política y educación), dirigido en gran parte hacia la conservación de la riqueza biológica. Esta alfabetización surge a partir de la necesidad de formar a los ciudadanos y las ciudadanas para intervenir y tomar decisiones con fundamento teórico basado en el conocimiento científico.

Por su parte, Fonseca (2011) afirma que la biodiversidad es un concepto *polisémico*, dividiéndolo en cuatro perspectivas: **biológica**, **recursos**, forma particular de **ver el mundo**, y como un **concepto cultural**.

- *Concepción biológica*: señala el establecimiento de niveles de organización jerárquica: ecosistemas, comunidades, género, especie, organismos y genes; resultado de procesos biológicos como la selección natural, el flujo genético y la especiación. En esta concepción surgen los atributos de composición, estructura y función.
- *Concepción de recursos*: especifica la necesidad de conservar y utilizar los componentes de la diversidad biológica de manera equilibrada, pues son indispensables para el mantenimiento de los sistemas vivos.
- *Forma particular de ver el mundo*: subyace de una concepción sistémica, en la que se considera ontológicamente a la biodiversidad como un producto complejo, que interacciona constantemente con otras entidades naturales de forma *reticular*.
- *Concepto cultural*: desde esta perspectiva se incorporan saberes locales que enriquecen la diversidad cultural. En ese sentido se incorporan los territorios y la cultura como unidad ecológica.

Por otro lado, Orozco (2017) plantea que el concepto de biodiversidad es *estructurante*, confiriéndole **atributos** (composición, estructura y función), **niveles de organización** (nivel

genético, de especies y de ecosistemas) y **ámbitos de explicación** (evolutivo, conservacionista, biológico-ecológico; y cultural, político y económico). Así, confirma la importancia de este concepto como una propiedad de la vida, en la enseñanza de la biología para la formación de ciudadanos y ciudadanas; y el desarrollo de conceptos, habilidades y actitudes:

La enseñanza de la biodiversidad es un tema relevante para la educación, concretamente para la enseñanza de las ciencias. La biodiversidad entendida no sólo como un concepto integrador de la biología, sino también como una propiedad de la vida de la que depende nuestra existencia como especie y nuestra calidad de vida, sugiere que cada ciudadano debe ser consciente de esta biodiversidad y desarrollar conocimientos sobre su biodiversidad local, habilidades y actitudes hacia su conservación (Orozco, 2017, p. 183, traducción propia).

4.2. El concepto de microbiobiodiversidad o diversidad de microorganismos: un concepto en construcción

Teniendo en cuenta los aspectos que caracterizan a la diversidad y a la biodiversidad, establezco el concepto de microbiobiodiversidad, como un término que sigue en construcción. No obstante, aquí realizo algunas aproximaciones epistemológicas que me permiten comprender a la diversidad biológica desde el mundo microbiano, pues implica pensar la existencia y la diferencia de aquello que no podemos percibir a simple vista.

Al hablar de la “microbiobiodiversidad”, me estoy refiriendo a los organismos con características de **ser vivo**, lo que en primera instancia excluye a los virus. Considerar la diversidad de los microorganismos, implica establecer el estudio de una microbiología más *metadisciplinar* a partir de un concepto estructurante, como el de la *biodiversidad*; que amplíe la visión del mundo microbiano hacia la conservación de estos organismos, reconociendo sus atributos, niveles de organización y ámbitos de explicación.

Desde lo *interdisciplinar*, Capello, Donovarros y Giono (2000), sugieren involucrar a los microorganismos dentro de la ecología, la biotecnología, la genética u otros paradigmas emergentes de la microbiología, así como desde los procesos de conservación, fundamentados principalmente en el mantenimiento de los ecosistemas (Montaño *et al.*, 2010), la generación de biomasa, el intercambio químico, las relaciones simbióticas y cooperativas que conforman con otros organismos y con los lugares que habitan; la resiliencia de los agroecosistemas y su convivencia con nuestra vida cotidiana (O'Malley, 2014).

Otras perspectivas apoyan esta concepción desde lo interdisciplinar, a partir de los estudios empíricos cuyo análisis extiendo en el **capítulo 1** de este documento. Principalmente,

reconocer la importancia de los microorganismos en múltiples dimensionalidades del ser humano, desde una diferencia interdependiente: tanto humanos como microorganismos necesitamos del otro para que podamos existir, lo que permite explorar la diferencia, la posibilidad de una conservación del mundo microbiano y una causalidad que complejice las relaciones que tenemos con los microorganismos, que, inclusive han *coevolucionado* con nuestra existencia.

Una de las primeras tareas de la filosofía de la microbiología es establecer la *significancia biológica de los microorganismos*. O'Malley (2014) resalta que, si bien, la biodiversidad no es suficiente para pensar la complejidad del mundo microbiano, resulta impresionante apreciar la cantidad, la biomasa microbiana y la variedad desde ese punto de vista. La biodiversidad es una propiedad del mundo biológico que es importante ecológicamente hablando. Sin embargo, mucha de la biodiversidad sobre la tierra es y siempre ha sido microbiana, independientemente de la gran visibilidad de animales y plantas; y a pesar de muchas diferencias en cómo se calcula la biodiversidad (O'Malley, 2014).

Otro punto importante tiene que ver con el tipo de valor que se le otorga a la biodiversidad, y su relación con los microorganismos. Respecto a este punto, González (2020) menciona la existencia de una dicotomía entre el valor instrumental y el valor intrínseco desde la diversidad biológica:

En el valor instrumental, la biodiversidad es valiosa sólo porque nos afecta como seres humanos. En la perspectiva del valor intrínseco, la biodiversidad se conserva porque cada ser vivo es valioso (González, 2020, 42:00).

Al revisar la bibliografía, encuentro que el interés sobre el valor de los microorganismos se enfatiza sobre lo instrumental, pues son utilizados en la industria biotecnológica, específicamente para la síntesis de productos alimenticios y farmacéuticos, industriales y de control biológico; y en el campo científico suelen usarse como modelos biológicos para la investigación biomédica (Montaño *et al.*, 2010). Sin embargo, frente al valor intrínseco, considero que es importante hacer una diferenciación entre la *conservación* y la *preservación*. Por un lado, la preservación de los microorganismos está configurada en una serie de técnicas para su aplicación y almacenamiento en colecciones de cultivos y ceparios; con la finalidad de utilizarlos en la investigación microbiológica (Weng, Díaz, y Álvarez, 2005). Y, por otro lado, la conservación, desde un sentido educativo, se establece como un proceso continuo, de apropiación coherente de los contenidos relacionados con la biodiversidad, como lo establece Guerra (2011):

La educación para la conservación es un proceso permanente y sistemático dirigido a la apropiación significativa y con sentido de los contenidos relacionados con la biodiversidad, de modo que el estudiante desarrolle conciencia, sentimientos y

convicciones que guíen sus modos de actuación hacia su uso y manejo sostenibles, al implicarse protagónicamente en la transformación de la realidad que posee esta problemática en su entorno comunitario (p. 60).

En este sentido, la perspectiva educativa de la *conservación* de la biodiversidad, como un concepto estructurante, puede brindar elementos para potencializar el valor *intrínseco* de los *microorganismos*, generando una oportunidad para complejizar la importancia de estos seres, dejando de lado la visión dualista-pesimista de la microbiología. Para dilucidar esta cuestión, realizo una revisión apoyada por Montaña *et al.* (2010); O'Malley (2014); y O'Malley y Parke (2020), que devienen de la filosofía y la ecología de la microbiología. A partir de esta revisión, obtuve las ideas clave que constituyen los siguientes elementos esenciales del tema para su enseñanza en la secundaria.

4.3. La biodiversidad desde la metagenómica

La metagenómica es una disciplina derivada de la **biología integrativa** que estudia la colección de material genético (genomas) presente en las comunidades microbianas (National Human Genome Research Institute, 2021). Este es un campo de conocimiento reciente, en el que se han desarrollado proyectos como el *Human Microbiome Project* del *National Institute of Health*. La identificación de los microorganismos se realiza a través de su material genético, contrastándola con las secuencias genéticas reportadas en bases de datos; lo que contribuye a esclarecer las características de un ecosistema microbiano (O'Malley, 2014).

Esta identificación se realiza a través de un marcador filogenético, que es el ARN ribosómico 16s (una de las tres subunidades del ARN procariota), aprovechando su capacidad conservativa. La microbiota se caracteriza cuando se analizan los genes del microbioma, y en ocasiones ocurre que estos genes se comparten. De esta manera, el estudio de la microbiología se problematiza a la luz de la evolución por primera vez en la historia de esta disciplina, visibilizando una diversidad microbiana que supera a la de los artrópodos (Guerrero y Berlanga, 2009)

De esta manera, las metodologías de análisis de la metagenómica ofrecen una red de relaciones entre las condiciones ecológicas de un microecosistema, y las comunidades microbianas que pueden estar presentes en el mismo. De esta manera, la metagenómica mide la diversidad microbiana que se encuentra en un lugar determinado, a partir del índice de Shannon, una escala que calcula la riqueza de organismos en términos ecológicos (Hernández, Vargas-Robles, Alcaraz y Peinbert, 2020); o a través de redes de datos que relacionan una comunidad microbiana con las condiciones ambientales que podrían estar afectándolas (Ramírez-Carrillo *et al.*, 2020).

Para O'Malley (2014) la metagenómica permite a los microbiólogos y las microbiólogas examinar las relaciones funcionales entre diferentes grupos microbianos y sus ambientes. De esta manera, este campo integra la información ecológica con la información genética para obtener datos relevantes sobre las comunidades microbianas que se encuentran en un lugar concreto.

Por tanto, este término perfila a la biodiversidad como un concepto estructurante que vincula los niveles de organización de la diversidad biológica y las características más importantes de los microorganismos, a partir de sus niveles de organización, sus condiciones ambientales y ecológicas y la organización mediante comunidades biológicas. A partir de las construcciones anteriores, identifico los elementos que están involucrados en los niveles de organización de la biodiversidad, relacionando el aspecto genético, de especies y ecosistémico de este concepto.

1. Nivel genético. La biodiversidad desde el *microbioma*: El microbioma está relacionado con la información genética que permite la identificación taxonómica del microbiota, así como la oportunidad de agruparlos de acuerdo con la función o a la similaridad, conformándose así las *comunidades microbianas*. Entonces, el microbioma establece la dimensión genética de las comunidades de microorganismos, lo que permite establecer su origen y su riqueza. En ese sentido, el microbioma define el nivel genético de la biodiversidad microbiana.

2. Nivel de especies. La biodiversidad desde el *microbiota*: El microbiota se refiere a la colectividad de microorganismos que habitan un nicho determinado. De esta manera, el microbiota define las características de las comunidades de microorganismos que están en un lugar específico, desde las características celulares (unicelular, procariota/eucariota, organelos presentes, forma y tamaño) hasta las características ecológicas de los entornos. En síntesis, el microbiota se refiere al nivel de especies.

3. Nivel ecosistémico. La biodiversidad desde los ecosistemas o *microecosistemas*: Se refiere a la capacidad que tiene la biodiversidad de ocupar diferentes nichos, y cómo interactúan en su medio con otros organismos. Las comunidades de microorganismos están ubicadas en casi todos lados, incluyendo, lugares extremos (como volcanes y nevados). La ubicuidad permite establecer las características de los lugares (sean nichos o ecosistemas) en la que habitan, junto con sus interacciones. De esta manera, es posible hablar del nivel ecosistémico.

5. Características generales de la biodiversidad involucrados en el desarrollo del material educativo

En el proceso de diseño y rediseño de material educativo, se incluyeron diferentes microorganismos con características únicas que comprueba la gran diversidad que existe en el mundo microbiano. En ese sentido, incorporo alguna información relevante para el desarrollo de las actividades, con el ánimo de proveer una “mirada teórica” que contribuya a fomentar la observación científica, y a comprender la diferencia en el contexto de la biodiversidad. Puntualmente, diez microorganismos son los protagonistas principales que se han incorporado, tanto en la versión preliminar como en el rediseño del material educativo.

- *Saccharomyces cerevisiae*

Son organismos que pertenecen al reino fungi o de los hongos. Se considera como una levadura ampliamente usada para el beneficio económico, cultural y alimentario de los seres humanos. Principalmente se utiliza para la repostería, la elaboración de cerveza y de vino. Estos organismos son heterótrofos, y pueden crecer aeróbicamente por respiración, o anaeróbicamente por fermentación. Se reproducen por gemación, y a pesar de que tienen características unicelulares, pueden conformar comunidades pluricelulares (O’Malley, 2014; Brown, 2015).

- **Protozoos**

Son microorganismos que conforman el reino protista, junto con las algas. Organismos eucariotas, que pueden ser autótrofos (si poseen cromatóforos productores de clorofila) o heterótrofos (si se alimentan de los recursos del medio). El surgimiento de estos microorganismos se debió a su asociación con bacterias, por medio de relación endosimbiótica. Principalmente, hay tres tipos de protozoos: los ciliados (poseen cilios alrededor de su membrana), los flagelados (utilizan un flagelo para desplazarse) y los rizópodos (también llamados protozoos ameboides, utilizan extensiones de membrana llamados rizópodos para moverse, con características hialinas). Estos microorganismos son de vida libre, y pueden estar ubicados en aguas estancadas como charcos, lagunas o aguas bentónicas (Margulis y Chapman, 2009).

- *Cutibacterium acnes*

Es una bacteria de la familia de las Actinobacterias, que son gram-positivas y anaerobias, y suelen ubicarse en las glándulas sebáceas de los humanos que son sitios ricos en grasa, haciendo parte de la microbiota natural de la piel. De esta manera, está asociado con el acné,

que se constituye en la sobreproducción de ácidos grasos cuando las glándulas sebáceas se obstruyen. Esta situación causa que proliferen estas bacterias, provocando una respuesta del sistema inmunitario, encausando un proceso de inflamación (Ibarra-Morales *et al.*, 2019).

- ***Penicillium sp.***

Este microorganismo hace parte del reino fungi, específicamente dentro del orden de los euromicetos, una serie de hongos microscópicos. Su nombre deriva de la palabra “pincel”, que se debe a la forma microscópica del órgano formador de esporas o conidióforo (semejante a una mano humana). Es utilizado ampliamente para el beneficio farmacológico, económico y cultural de los seres humanos. El crecimiento de este microhongo se presenta en suelo, compostaje, frutas en descomposición, y hasta fibras de vidrio (Micropia, 2021).

Microscópicamente, suele estar conformado por hifas septadas (similares a pelos), conidióforos (parecidos a los dedos de las manos) ovalados o cilíndricos. Macroscópicamente, se conforman colonias de crecimiento rápido, con coloraciones grisáceas, verdosas o azules. La superficie puede ser filamentosa o algodonosa (DataBio, 2021).

- ***Nitrobacter sp.***

Es una bacteria quimioautótrofa que oxida compuestos de nitrógeno. Son organismos procariotas y unicelulares, con forma de pera que poseen membranas internas que se extienden a lo largo de la periferia de un extremo de la célula. Es un microorganismo que se encuentra ampliamente distribuido, y que se asocia con plantas leguminosas, generalmente de la familia fabaceae (como el frijol, *Phaseolus vulgaris*) (Margulis y Chapman, 2009).

- ***Coprococcus***

Es un género de bacterias Gram negativas (procariotas y unicelulares) de la división firmicutes, con aspecto de bacilo, que hacen parte de la microbiota natural de la boca, vías respiratorias superiores, el tracto intestinal, la vagina y la piel (Brook, 2017). Este microorganismo puede localizarse a través de la materia fecal. Además, está asociado con el funcionamiento y el comportamiento cerebral, a través de un eje de comunicación bidireccional denominada cerebro-intestino-microbiota (Ramírez-Carrillo, 2020).

- ***Dialister***

Junto con *Coprococcus*, es otra bacteria Gram negativa, sin movilidad, ovaladas a circulares, involucrada en los procesos cerebrales, y que hace parte de la microbiota intestinal. Se puede

localizar en la materia fecal. Es otro microorganismo involucrado en la comunicación cerebro-intestino-microbiota. Existe una asociación entre la presencia de estas dos bacterias y la incidencia en la depresión en algunas comunidades humanas (Ramírez-Carrillo, 2020).

- ***Corynebacterium spp.***

Son bacterias gram positivas, inmóviles, que pueden ser tanto aerobias como anaerobias. Se pueden encontrar en parejas o agrupadas, formando una “V”. Son microorganismos de vida libre, y se pueden encontrar en los alimentos, y superficie de objetos; y está asociado a la microbiota vaginal. Podrían llegar a ser perjudiciales para los seres humanos, si el sistema inmunológico estuviera comprometido (DataBio, 2021).

- ***Streptococcus sp.***

Son bacterias gram positivas, que tienen forma de cocos, y que hacen parte de las “bacterias lácticas”. Son microorganismos de vida libre, pero también hacen parte de la microbiota oral. Si se alteran las condiciones ambientales en las que vive, podrían enfermar seriamente a los seres humanos, causando caries dental, por ejemplo (Hernández *et al.*, 2020).

- ***Staphilococcus***

Son microorganismos bacterianos de la clase firmicutes. Suelen vivir en la mucosa y en la piel de los seres humanos. Al observarse al microscopio, pueden conformar una serie de racimos en sus colonias.

De acuerdo con lo anterior, son diversas las características que componen a los microorganismos que incorporo en el material educativo, tanto en la versión preliminar como en el rediseño. Esta vida microbiana se ilustra mediante la figura 5. Las imágenes fueron extraídas de la web bajo la licencia de *Creative Commons*.

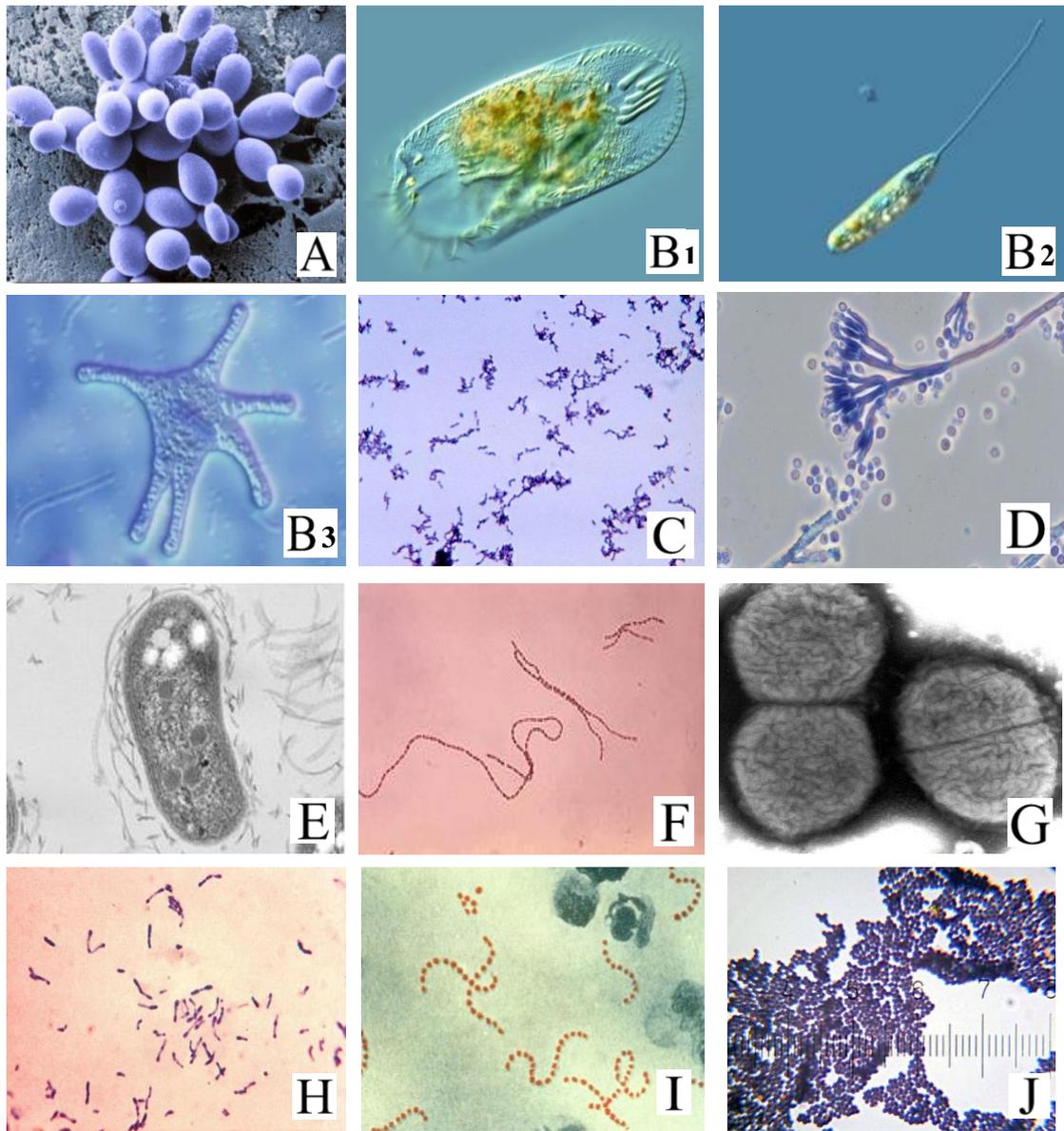


Figura 5. Microorganismos involucrados en la versión preliminar y en el rediseño del material educativo.

(A) Microfotografía de *Saccharomyces cerevisiae* (B1) Fotografía de un protozoo ciliado bajo el microscopio (B2) Fotografía de un protozoo flagelado bajo el microscopio (B3) fotografía de un protozoo ameboide bajo el microscopio (C) Fotografía de *Cutibacterium acnes* (D) fotografía de *Penicillium* (E) Microfotografía de *Nitrobacter* (F) Fotografía de *Coprococcus* (G) Microfotografía de *Dialister*, obtenida del portal microbiomology.org (H) Fotografía de *Corynebacterium* (I) Fotografía de *Streptococcus* (J) Microfotografía de *Staphylococcus*.

Hasta aquí he discutido los aportes de los autores para construir un marco de referencia relacionado con la biodiversidad para estructurar el material educativo, tanto para la *versión preliminar*, como para el *rediseño* del material educativo.

En la versión preliminar del material educativo, como parte de las construcciones de partida sobre la planeación didáctica, definí la biodiversidad como “*la construcción de puentes que unen a las diferentes áreas de la microbiología, estableciendo una integración que reflejen las relaciones naturales que existen entre los organismos*” (Capello *et al.*, 2000, p. 8). Las áreas o disciplinas se relacionaban con la morfomicrobiología, la ecología y la biotecnología. Para anclar este primer marco teórico, incorporé dos casos particulares: los microorganismos presentes en aguas estancadas como un florero (generalmente protozoos, algas y bacterias), y la levadura como microorganismo protagonista en el proceso de elaboración de pan. Sin embargo, en este planteamiento prevalecen las relaciones unidireccionales en las que reconozco que la biodiversidad ha sido explotada para nuestro beneficio, sin reflexionar sobre la necesidad de conservarlos para nuestra propia existencia.

Por lo tanto, esta perspectiva epistemológica se ha transformado a causa del enriquecimiento teórico que ofrece la biodiversidad desde una construcción teórica más compleja y sistémica, desde la filosofía de la microbiología y la metagenómica. Considero que el proceso de análisis de la base empírica (el pensamiento de estudiantes y la evaluación por juicio de expertos) ofrecieron más elementos para perfeccionar el componente disciplinar-epistemológico que subyace de la propuesta didáctica. Este aspecto lo abordé en el capítulo de toma de decisiones para el rediseño.

CAPÍTULO 4. “Detectives de microorganismos”: Diseño preliminar de material educativo

En esta sección describo los elementos esenciales que abarcaron la versión preliminar del material educativo. Esta fue la primera acción que se llevó a cabo, como una manera de plasmar mis ideas iniciales sobre la planeación didáctica. La intención inicial de este material consistía en su implementación en el contexto de un aula de biología de una escuela secundaria. Sin embargo, el escenario pandémico reorientó el trabajo investigativo hacia la reflexión sobre el fortalecimiento del diseño didáctico.

Teniendo en cuenta este panorama, en este capítulo describo el modelo de planeación didáctica de “Detectives de microorganismos”, basado en Neus Sanmartí (2002), así como el proceso de diseño a través de cuatro componentes: disciplinar-epistemológico, didáctico-pedagógico, estructural-lógico y el de observación científica. Finalmente, vinculo el modelo de planeación con los elementos teóricos que se incorporaron relacionados con la biodiversidad y la observación científica.

La versión preliminar del material educativo se puede encontrar en este [enlace](#).

1. Modelo de planeación didáctica

El modelo de planeación didáctica que orientó el diseño del material educativo en esta tesis está basado en Sanmartí (2002), que plantea desde una postura socioconstructivista la toma de decisiones para la elaboración de secuencias de enseñanza y aprendizaje, teniendo en cuenta los modelos iniciales de los y las estudiantes, la autorregulación y corregulación del aprendizaje, la incorporación de nuevos conceptos para complejizar los modelos iniciales.

Bajo esta perspectiva, el diseño preliminar del material educativo se estructuró bajo cuatro fases de planeación didáctica, de elementos simples a complejos; y de lo intuitivo a lo contraintuitivo:

- *Fase de exploración:* Se incorporan actividades que expliciten las representaciones iniciales de los/las estudiantes a través de situaciones iniciales, preguntas clave, el planteamiento de hipótesis o la comunicación de puntos de vista.
- *Fase de introducción de nuevos conocimientos:* Las actividades están orientadas a identificar nuevos puntos de vista sobre el tema a estudiar: definirlos, describirlos o explicarlos. Pueden ser de todo tipo, buscando la reflexión (individual y colectiva) sobre sus planteamientos iniciales.
- *Fase de síntesis o de estructuración del conocimiento:* En esta fase se consideran actividades que promuevan la abstracción de las ideas más importantes, presentando

nuevos contextos, formulando conclusiones sobre los aprendizajes adquiridos. Cada representación elaborada por los/las estudiantes es personal; y pueden ser mejorados de forma colectiva contrastándolas con otras representaciones: entre pares, la del profesor u otras fuentes de información.

- *Fase de aplicación o de generalización*: Las actividades de esta fase se relacionan con otros contextos, planteando nuevos problemas, posibilitando nuevos aprendizajes y el planteamiento de nuevas preguntas e interrogantes.

2. La observación científica: modelos y perspectivas

A partir de la relación anterior entre la biodiversidad y la observación, mediada por la invención del microscopio, no es posible definir a la observación como un asunto que está ligado a la simple visión o a la percepción de los fenómenos que rodean a la ciencia. Existen diferentes concepciones que conciben a esta habilidad como parte de otras, más otras visiones que proponen modelos teóricos y empíricos para demostrar su progresión en la escuela. Por lo tanto, expreso aquí las ideas más generales que guían la definición de la observación científica, desde una visión propia de las ciencias, hasta aterrizar en los procesos de aprendizaje en la enseñanza de la biología y la microbiología.

Para Vázquez (2004) la observación constituye la base o el *soporte empírico* de nuestro conocimiento acerca del mundo. El primer paso para la observación es la **percepción**, definido como el procesamiento cerebral de la estimulación sensorial procedente del ítem a identificar. De esta manera se consolida el “*ver epistémico*”, que permite hacer la distinción de las teorías a través de un fenómeno en particular. Esta idea se deriva de la *observación basada en la teoría* (en inglés *Theory-laden observation*) propuesta por Norwood Russell Hanson (1977). Este autor explica, a través de múltiples ejemplos (uno de ellos mencionado en el capítulo 1), que el hecho de “percibir” un mismo “fenómeno”, la descripción de lo que se observa es distinta porque depende de la *carga teórica* que constituya la *interpretación* de los fenómenos.

Sin embargo, Aguirre-García y Jaramillo-Echeverry (2013) establecen que hay dos elementos que hay que tener en cuenta con relación a la carga teórica. El primero tiene que ver con el hecho de que hay muchos mundos posibles en los que la percepción puede dar diferentes explicaciones ante un fenómeno; y el segundo argumento establece que “(...) *no podemos comprobar nuestra experiencia con la realidad. En orden a mirar si nuestras experiencias o creencias corresponden con la realidad siempre otras experiencias o creencias deben intervenir*” (p. 79).

Considero que este aspecto es importante, pues implica hacer un esfuerzo en incorporar elementos que reconozcan que la observación es una habilidad que se construye de forma

colectiva. De esta manera, Aguirre-García y Jaramillo-Echeverry (2013) invitan a concebir una observación más constructivista, al establecer que la carga teórica no implica la objetividad del conocimiento:

La observación cargada de teoría (...) no implica que todo conocimiento sea construido a la medida del sujeto o de la comunidad en el que se enuncia. A lo sumo podemos concluir que la observación es falible, o sea, que la observación no puede darnos un fundamento cierto y seguro (p. 80).

Por otro lado, los planteamientos de Margaret Cavendish (2001) apelan a la imperfección de las observaciones, que suelen mostrar una imagen deformada de lo natural debido a la “doble percepción”: el proporcionado por la vista y su magnificación a través de instrumentos como el microscopio. Esta crítica está relacionada a uno de los problemas manifestados por O'Malley (2016) relacionado a la definición de causalidad microbiana, pues las primeras observaciones determinaron una naturaleza *indeterminada* de la microbiología se centraba en aquello que no se podía percibir a simple vista, cuestión que fue complejizándose al crearse los medios de cultivo en la era experimental de la historia de la microbiología. No obstante, retornando al argumento de Hanson (1977), tener la posibilidad de observar microorganismos con los primeros microscopios, no significó que se tuvieran a mano los marcos de referencia para comprender/interpretar lo que se apreciaba.

Considero que estos elementos son importantes para la problematización de los aprendizajes, pues es fundamental que en la enseñanza de la biología los y las estudiantes realicen observaciones e indaguen sobre sus dudas y sus interpretaciones de lo que se está estudiando, como una forma de provocar la reflexión sobre lo que se observa, construyendo y desarrollando de las ideas para integrarlas a sus actitudes (Santos *et al.*, 2019, p. 59). Algunas experiencias desde la enseñanza de la biología, y específicamente de los microorganismos, podrían aportar significativamente a esta construcción conceptual.

La observación es una habilidad explorada principalmente en el preescolar y en la escuela primaria, y aunque se busca que se “observe” las cosas que interesan a los científicos (ciencia práctica), las inferencias que realizan no tienen características científicas (Eberbach y Crowley, 2009). La observación es empleada en todas las etapas del trabajo de *indagación*: como un estímulo para *plantear preguntas*, *conectar las experiencias* anteriores con las nuevas, para *recopilar la información*, para reconocer patrones y relaciones entre eventos y objetos. Esta es una de las acciones que comienza con estrategias de *indagación* y de la búsqueda consciente de la información para *extender las ideas* (Oguz y Yurumezoglu, 2007).

En su experiencia en el nivel de preescolar, Rodríguez (2021) establece que, para observar, también es necesario poner a prueba una serie de habilidades que apoyen a la observación y la complejicen; para la construcción de aprendizajes relacionados con la biología. Esta

perspectiva, me permite reconocer a la observación científica de manera *integrativa*, en la que es necesario desarrollar diferentes acciones procedimentales y/o cognitivas, para alcanzar la observación sistemática de fenómenos en la ciencia escolar.

En la secundaria, el trabajo de Ramírez (2017) caracteriza la *observación científica* a través de actividades prácticas como resultado de su práctica docente. En esta experiencia, se resaltaron habilidades asociadas, como el registro, la descripción e interpretación de fenómenos. No obstante, invita a promover la reflexión sobre lo que se observa, pues es una de las dificultades que presentó al realizar su intervención educativa.

Por lo tanto, la *observación sistemática* para niños y niñas podría ser un paso para ir más allá de la comprensión de los fenómenos del mundo, también de entender el primer paso para *hacer la ciencia* (Oguz y Yurumezoglu, 2007; Rodríguez, 2021), por lo que es una habilidad fundamental para la *actividad científica* (Eberbach y Crowley, 2009). Así mismo, permite la recolección de información sobre lo que nos rodea para configurar, reordenar o reflexionar sobre nuevos conocimientos (Busquets, Juandó, Geli y Trebal, 1995).

En este acercamiento teórico, me aproximo a tres perspectivas sobre la observación científica, desde la propuesta de Kohlhauf, Ruthke y Neuhaus (2011), de Eberbach y Crowley (2009), y Busquets, Juandó, Geli y Trebal (1995).

- El modelo de Kohlhauf, Ruthke y Neuhaus:

Desde los planteamientos de Kohlhauf, Ruthke y Neuhaus (2011), la observación científica se concibe como una **competencia** que involucra *actividades cognitivas*, y un prerrequisito necesario para la *generación de cuestionamientos*, la generación de *hipótesis*, la *interpretación de datos* y a la *conclusión* en términos científicos. Además, establecen que es uno de los métodos principales de las ciencias biológicas, pues es el *punto de inicio* de un fenómeno científico, al que se le resta importancia por parecer una acción trivial. No obstante, el sentido de la vista contribuye a acercar los sentidos al reconocimiento de nuestro mundo.

Teniendo en cuenta lo anterior, establecen tres dimensiones esenciales de la observación científica: la **descripción**, el **razonamiento científico** y la **interpretación**:

1. La *descripción* intenta reflejar el nivel de revisión y comprensión de la observación, pero también la documenta a través de la verbalización (oral o escrita), ya que hay una conexión entre el discurso y el desarrollo de conceptos mentales.

2. Por otro lado, el *razonamiento científico* busca el desarrollo del “pensamiento divergente” mediante la búsqueda activa de la información, el fomento por la curiosidad y la interrelación de ideas.

3. Finalmente, la *interpretación* consiste en la evaluación sistemática de los datos basados en la evidencia.

En su propuesta, Kohlhauf *et al.* (2011) desarrollan estas dimensiones en tres niveles progresivos de observación: **incidental**, **no sistemática** y **sistemática**. Mediante la tabla 7 presento la definición de estos tres niveles, que se establecen de forma progresiva.

Tabla 7.

Niveles de progresión de la observación científica. Adaptado de Kohlhauf *et al.* (2011, p. 670). Traducción propia.

Dimensión	Definición	Observación incidental	Nivel Observación no sistemática	Observación sistemática
Descripción	Documenta la observación. Verbalización (relación entre discurso y desarrollo de conceptos mentales, no-verbal (dibujos).	Descripciones perceptivas sin detalles.	Descripción de pocos detalles, poca atención en detalles específicos.	Descripción de muchos detalles, mucha atención en los detalles específicos
Razonamiento científico	Se busca el pensamiento divergente en el estudiantado. Se define el tipo de pregunta antes de iniciar una observación sistemática	Pasivo o inexistente, mayormente provocado/impulsado	Parcialmente inducida	Autosuficiente. Se genera de forma independiente
Interpretación	Se correlacionan los datos con la hipótesis inicial	Pasiva o inexistente	La observación y la inferencia no están separadas	La observación y la inferencia no están separadas

- El modelo de Eberbach y Crowley:

La segunda propuesta que exploro corresponde a la de Eberbach y Crowley (2009). Argumentan que la observación científica requiere coordinación entre el conocimiento disciplinar, la teoría, la práctica y hábitos de atención. Mencionan tres factores fundamentales para llevarlo a cabo: (1) *la medida en que la inscripción explícitamente ayuda a solventar el*

problema que le interesa a los niños y las niñas; (2) si los sistemas para hacer el registro son propios o creados por otros; y (3) la mediación de quienes tienen más experiencia. De esta manera, sostienen que la observación juega un rol fundamental en el proceso de indagación, y que es posible desarrollar esta acción a través de propuestas que partan de la combinación de experiencias, oportunidades e intereses que muevan el pensamiento en una trayectoria de aprendizaje.

La propuesta de Eberbach y Crowley (2009) se centra en cuatro componentes, con características perceptivas y cognitivas. Estos componentes se describen en tres niveles de progresión: **cotidiana** (observación novata), **transicional** (observación intermedia) y **científica** (observación experta). En la tabla 8 relaciono los componentes con los niveles de observación sistemática.

Tabla 8.

Componentes de la observación sistemática progresiva. Traducción propia (Eberbach y Crowley, 2009, p. 55 y 56).

Componentes	Cotidiana (novata)	Transicional (Intermedia)	Científica (Experta)
Reconocimiento: parte de la percepción del fenómeno.	Reconocimiento de la diferencia, de elementos irrelevantes que distinguen a un tipo de los demás sin conciencia explícita. Descripción de pocas características que pueden o no conformar una estructura disciplinar. Nombrar variedades.	Reconocimiento de características más relevantes e identificar patrones de características. Usar y describir características validadas por otros para identificar aves. Conectar características de acuerdo con funciones y comportamientos. Nombrar variedades, organizarlos en grupos de acuerdo con la función o al comportamiento. Desarrollar hábitos de atención más específicos.	Reconocimiento y descripción de características relevantes e ignorar las irrelevantes usando estructuras disciplinares. Dividir la información que provee la observación y usar un espacio más pequeño para hacer agrupaciones. Mencionar más tipos de organismos y en niveles jerárquicos más altos. Identificar y mencionar organismos y relaciones complejas. Estimular el conocimiento relacionado. Inferir función, comportamiento y morfología.

Componentes	Cotidiana (novata)	Transicional (Intermedia)	Científica (Experta)
Expectativa: Coordinación entre las observaciones con las grandes ideas y las teorías científicas	Expectativas vagas sobre las observaciones. Confundir la evidencia observacional con las creencias.	Explicaciones más explícitas sobre los organismos que reflejan observaciones plausibles. Explicaciones que varían entre lo científico y lo cotidiano.	Explicar hipótesis consistentes con el marco teórico que da forma a la observación, el espacio de búsqueda y la documentación. Coordinación experta entre hipótesis y evidencia.
Registro: herramientas cognitivas, físicas y virtuales que los niños usan para razonar con los datos observados.	Observar sin recopilar ni registrar observaciones. Citar algunos hechos sobre las especies.	Registrar observaciones (en listados personales o un diario) pero comenzarlos sin pautas disciplinarias. Comparar datos personales con otros tipos de datos. Comenzar a usar diferentes representaciones de datos.	Registrar observaciones usando los procedimientos y representaciones. Organizar y analizar observaciones registradas. Razonar con los datos y representaciones observadas.
Producción	Oportunista e incidental. Notar información sobre las aves cuando están fácilmente disponible.	Compromiso sostenido. Charla intencional sobre búsqueda de información y observaciones sobre los organismos. Colectar objetos biológicos y parafernalia relacionada.	Persistente, compromiso sostenido. Generar sentimientos por el organismo de estudio.

- *El modelo de Busquets, Juando, Geli y Trebal*

Por su parte, Busquets, Juandó, Geli y Trebal (1995) definen a la observación como un *procedimiento* que más ha contribuido a la elaboración del conocimiento científico, que no solo “se limitan a las capacidades de *descripción*, pues también inciden en la formación de *actitudes y normas de conducta* que conforman la personalidad de los estudiantes” (Busquets *et al.*, 1995, p. 1). Además, caracterizan esta actividad como una respuesta objetiva a la curiosidad de los y las estudiantes que parte de un interrogante, cuya información no sólo se obtiene de lo que se “ve”, sino que proviene de todos los sentidos corporales. A su vez, destacan que el proceso interpretativo comienza por el conocimiento previo que se tiene del objeto de observación.

Establecen esta actividad compleja desde cuatro pautas de observación, como el **interés**, la **exploración sensorial** del objeto, la identificación de los **elementos que lo componen** y sus relaciones y la **comunicación** de los resultados. Estos aspectos son propuestos desde lo más simple a lo más complejo, y se sintetizan a través de la tabla 9.

Tabla 9.

Pautas de observación. Adaptado de Busquets *et al.* (1995).

Pauta de observación	Descripción
Interés	Para estimular el interés de los y las estudiantes es esencial recurrir a los conocimientos previos que puedan tener el objeto de observación.
Exploración sensorial	Involucrar todos los sentidos en la observación, incluyendo lo organoléptico, y lo kinestésico.
Componentes	Es necesario que los/las estudiantes se familiaricen con el objeto a través de la identificación de toda su estructura y de los elementos que la componen, diferenciándolos. La relación entre las estructuras y las funciones es un imperativo en esta pauta.
Comunicación	Dar la oportunidad de compartir las observaciones a cada estudiante, de forma orientada y precisa, incluyendo la información y destacando los elementos más importantes. El tipo de comunicación puede variar, desde lo plástico, hasta lo mímico.

Ahora bien, la revisión de diversos modelos de observación científica me permitió establecer algunos elementos esenciales para la versión preliminar y el rediseño del material educativo. En primera instancia, fue importante esta revisión porque confirma la complejidad de esta habilidad, así como su progresión en la escuela.

Una de las dificultades que presenté en la elaboración inicial del material fue la formulación de actividades que precisamente motivaran la sistematicidad de las observaciones, la reflexión consciente sobre el objeto observado y la construcción colectiva de las representaciones textuales o gráficos derivados de esta habilidad, cuestión que también reflejó el análisis de los estudios empíricos. En la versión preliminar, utilicé el modelo propuesto por Kohlhauf *et al.* (2011), que ofrece la posibilidad de un “pensamiento divergente”, cuestión que se asocia con la intención de explorar el mundo microbiano a través de las construcciones conceptuales de la biodiversidad desde la diversidad y la filosofía de la disciplina.

Sin embargo, las habilidades (llamados dimensiones o componentes) tienen un enfoque distinto, pues consideran distintas acciones cognitivas, lingüísticas y psicológicas. Para establecer estas diferencias, propongo la misma división que establecí en el **capítulo 2**,

dividiendo las habilidades entre las *cognitivo-lingüísticas* y las *adquisitivas-psicológicas*, mediante la tabla 10.

Tabla 10.

Diferenciación de los modelos de observación científica a partir de las habilidades cognitivo-lingüísticas y adquisitivas-psicológicas. Elaboración propia.

Modelo de observación científica	Habilidades cognitivo-lingüísticas	Habilidades adquisitivas-psicológicas
Kohlhauf et al.	Descripción	Razonamiento científico Interpretación
Eberbach y Crowley	Registro	Reconocimiento Expectativa
Busquets et al.	Comunicación	Interés Exploración sensorial

De esta manera, considero esta habilidad con un potencial *metacognitivo*, que podría permitir a las personas ser conscientes de su propio proceso de aprendizaje fomentando el pensamiento crítico a través de la reflexión (Pérez y González, 2020). Para Tamayo, Zona y Loaiza (2006) la actividad metacognitiva implica reflexionar sobre la actividad de aprendizaje desde una perspectiva crítica, proponer acciones para mejorar en caso de que existan dificultades, y reflexionar sobre la acción. Además, mencionan que es necesario pensar en los diferentes procesos del pensamiento, pues permite que los y las estudiantes estén informados a detalle para monitorear y evaluar los aprendizajes.

En ese sentido, la metacognición también está asociadas al establecimiento de semejanzas y diferencias (comparación), a la evaluación de los registros y clasificaciones propias; y el uso de diversas estrategias para interpretar un conjunto de datos y discernir sobre los datos relevantes de los que no lo son (Tamayo, 2006; Pérez y González, 2020). Desde esta idea, considero que la observación científica podría potenciar el aprender a aprender, pues esta habilidad compleja se asocia a habilidades cognitivo-lingüísticas y adquisitivas-psicológicas. Por lo tanto, uno de los retos en el proceso de rediseño estuvo relacionado con la idea de proponer actividades metacognitivas para invitar a los y las estudiantes a reflexionar sobre las dificultades y los progresos en los aprendizajes, en el contexto de la promoción de la observación científica.

Sin embargo, Marín y Ramírez (2020) subrayan que el profesor y la profesora deben generar las oportunidades para que se observe de manera intencional los elementos que compone el objeto de estudio, relacionando la carga teórica, llegando a reflexiones sobre las implicaciones de aquello que se observa. Por su parte, Pérez, Ramírez y Bernal (2019) destacan la importancia de la reflexión de la práctica pedagógica como un aspecto que permita explicitar la observación dentro de la planeación educativa, al convertirse como una

base orientadora desde el diseño de propuestas didácticas. Por ende, el diseño de material educativo podría dar indicios de cómo encaminar la reflexión, que destacan Marín y Ramírez (2020) como el proceso más complicado de esta habilidad.

3. Relación entre la observación científica y la microbiodiversidad

Desde el punto de vista histórico, los seres humanos no empezamos a construir conocimiento y conciencia basados en evidencias sobre la existencia del mundo microbiano hasta que fue posible superar tecnológicamente las limitaciones de la visión humana. Por ende, el conocimiento moderno sobre el mundo microbiológico se debe parcialmente a la observación científica como una habilidad compleja y un recurso epistemológico. Al respecto, Valério y Torresan (2017) apuntan a la importancia de instrumentos técnicos como una necesidad de facilitar la capacidad de transformar la forma en la que observamos el mundo microbiano, redefiniendo a la diversidad biológica:

Las huellas que dejó el microscopio en el pensamiento biológico comenzaron con la forma en que este instrumento transformó la complejidad del mundo de las formas vivas en su época. Al redefinir los límites de la diversidad, las ciencias biológicas pudieron dirigir su mirada al núcleo de las formas vivas. Los organismos vivos ya conocidos podrían ser observados y descritos con un nivel de detalle antes inimaginable. Además, un nuevo mundo biológico había surgido bajo la lente del microscopio (el de Leeuwenhoek, en particular) con el descubrimiento de nuevas y extraordinarias formas de vida (Valério y Torresan, 2017, p. 130, traducción propia).

Así pues, la observación a través de artefactos tecnológicos como el microscopio fue uno de los primeros pasos para considerar una diversidad microbiana, reconociendo otras formas de percibir la vida y lo vivo. Además, de reconocer que la complejidad de la biología como ciencia corresponde, en gran parte, a la historia de los resultados de mejoras técnicas (Valério y Torresan, 2017).

4. Componentes del diseño preliminar del material educativo

El material diseñado, denominado “*Detectives de microorganismos*” plantea una perspectiva que invita a pensar el mundo microbiano desde el ámbito de la biodiversidad de microorganismos o microbiodiversidad, enfatizando en la observación científica como habilidad metacognitiva. Son cuatro los componentes que conforman este material: componente disciplinar-epistemológico, didáctico-pedagógico, estructural-lógico y el de la observación científica.

1. *Componente disciplinar-epistemológico (CDIS)*: se presentan los **contenidos** de acuerdo con la asignatura y la temática de estudio en un orden lógico, con información actual y alto rigor científico. Esta organización debe conducir al establecimiento de relaciones conceptuales e interdisciplinarias (Marín, 2009). En el contexto del material, estas relaciones conceptuales se establecen a partir de la definición de biodiversidad, en sus tres niveles de organización: microbiota, microbioma e interacciones ecosistémicas (O'Malley, 2014; O'Malley y Parke, 2020). Por lo tanto, en este componente se busca determinar las relaciones entre el contenido disciplinar derivada de la filosofía de la microbiología, que aporte a la construcción de ideas clave que definan los objetivos de aprendizaje (Guisasola, Ametller y Zuza, 2021).

2. *Componente didáctico-pedagógico (CDID)*: se refiere a las **orientaciones de enseñanza** y aprendizaje; además de clarificar las condiciones y el proceso de evaluación que se aplicará a los y las estudiantes. Incluye, además, nuestras concepciones sobre educar, los planteamientos didácticos y metodológicos, conocimientos, habilidades y actitudes, objetivos, contenidos, y estrategias didácticas (Marín, 2009). En este componente se establece el tratamiento didáctico de la biodiversidad, la introducción al profesor, la coherencia con los trabajos prácticos, el recurso “*Bio-blog*” y la relación entre los objetivos y el material.

3. *Componente estructural-lógico (CEST)*: se establecen aspectos vinculados al **diseño gráfico** de dos naturalezas: físicos (elementos de encuadernación, seguridad, calidad que sean atractivos) y simbólicos (lenguaje verbal -textual y no verbal como representaciones gráficas, íconos, fotografías, entre otros) (Marín, 2009). En este componente se considera el lenguaje, la organización lógica del material, los aspectos visuales y gráficos, y la fuente.

4. *Componente de Observación científica (COBS)*: se establecen los elementos relacionados con la **habilidad compleja** central, de acuerdo al modelo propuesto por Kohlhauf *et al.* (2011): descripción, razonamiento científico e interpretación.

Mediante la figura 6, esquematizo los componentes que conforman el material educativo diseñado, asociando los elementos que las integran.

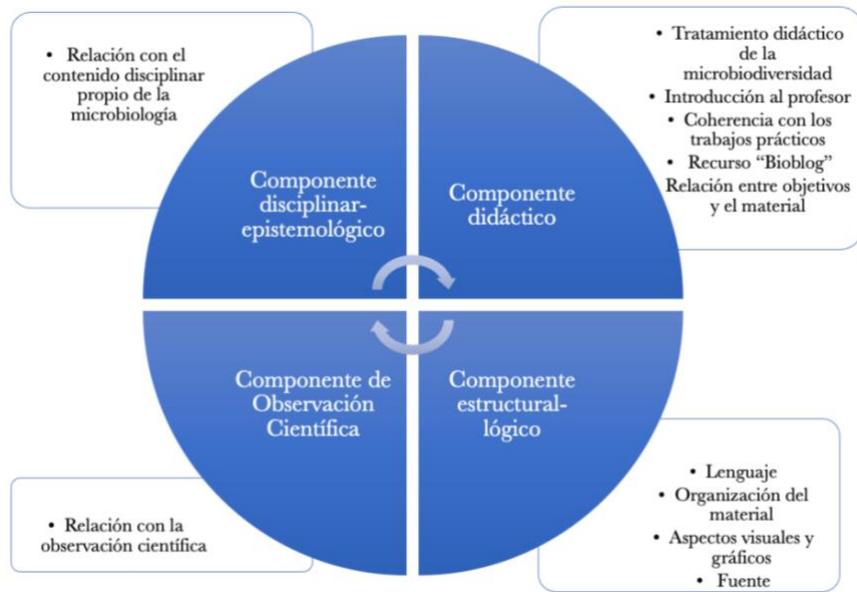


Figura 6. Componentes que conforman el material educativo. Elaboración propia.

En el contexto de este proyecto de tesis, específicamente en el diseño preliminar de la secuencia didáctica, estructuré las actividades para estimular la progresión de la observación científica en los/las estudiantes. Sin embargo, consideré la propuesta de Kohlhauf *et al.* (2011) en esta primera versión, para la conducción de las actividades clave a partir de estrategias enmarcadas en el trabajo práctico.

5. Trabajos prácticos como enfoque didáctico

El enfoque didáctico que establezco en la versión preliminar está basado en los trabajos prácticos. De acuerdo con Caamaño (2005) los trabajos prácticos se establecen como estrategias didácticas que buscan la formación en experiencias como elementos que son esenciales para percibir fenómenos, la interpretación de lo que se observa y la exploración constante de las ideas de los y las estudiantes. Así mismo, busca la elaboración de ejercicios prácticos para la incorporación de aspectos procedimentales como la comprobación o la relación entre variables.

Sin embargo, Hernández-Millán, Irazoque-Palazuelos López-Villa (2012) destacan que este tipo de enseñanza debe estar acompañada por procesos de reflexión sobre lo que implica enseñar y aprender a partir de contextos experimentales. De esta manera, señalan la necesidad de una integración entre lo conceptual, lo procedimental y lo actitudinal; partiendo de tres finalidades: *aprender ciencias*, *aprender qué es la ciencia* y *aprender a hacer ciencia* (p. 103).

En pequeñas investigaciones dentro del aula, los trabajos prácticos pueden planearse a partir de la resolución de problemas teóricos o prácticos por parte del estudiante o de la estudiante, mediante la percepción del problema, la planificación, la evaluación y la comunicación. El papel del profesor o de la profesora tiene que ver con un cambio de mentalidad, pues depende del grado de apertura a las guías abiertas, a las hojas de ayuda, a la formulación de los enunciados y a la implementación de diversas estrategias para llevar el trabajo práctico (Caamaño, 2002).

Una de las dificultades que establece Caamaño (2002) que podría afectar la aplicación de un trabajo práctico tiene que ver con la complejidad de la carga teórica, la complejidad y disponibilidad de instrumentos de observación y el contexto en el que se plantea la investigación.

De acuerdo con los trabajos prácticos, en la versión preliminar relacioné al ámbito disciplinar (la biodiversidad) y la habilidad de observación. En la tabla 11, relaciono el concepto a abordar, así como la estrategia y la(s) habilidades de observación asociadas.

Tabla 11.

Relación entre fases, estrategias, conceptos disciplinares clave y la habilidad asociada a la observación. Elaboración propia.

Fase/etapa de la secuencia	Estrategia	Concepto clave de la biodiversidad	Nivel de observación requerida	Dimensión
Exploración	Trabajo práctico	Ideas iniciales: ubicuidad y microbiota	Observación incidental	Primeras aproximaciones a la descripción
Introducción de nuevos conocimientos	Indagación	Microbiota: características de los microorganismos	Observación no sistemática	Descripción
	Trabajo en laboratorio	Microbiota: observación al microscopio Microbioma	Observación no sistemática a sistemática	Descripción progresiva, razonamiento científico
Síntesis	Trabajo por indagación	Microbiota, microbioma y ecología microbiana	Observación sistemática	Descripción
	Elaboración de representaciones	Ecología microbiana	Observación sistemática	Descripción, Razonamiento científico e interpretación
Generalización	Indagación por estudios de caso	El microbioma en múltiples contextos: plantas, humanos y aplicaciones médicas	Observación sistemática	Descripción, razonamiento científico e interpretación

La versión preliminar del material didáctico se constituye en una secuencia didáctica, diseñada para ocho sesiones de clase, y dirigida a estudiantes de primero de secundaria. Este diseño partió de la fase de diagnóstico inicial, en la que se tuvieron en cuenta algunas dinámicas de una clase de primer grado de una Escuela en Apodaca, Nuevo León. El material, titulado “*Detectives de microorganismos*”, estaba compuesta por ocho sesiones de clase, y organizadas de acuerdo con las fases de planeación didáctica propuestas por Sanmartí (2002). Mediante la tabla 12, se sintetizan los elementos principales del material preliminar, y mediante la figura 7.

Tabla 12.

Descripción sintética de las fases de planeación de la secuencia didáctica. Elaboración propia.

Fase	Descripción
Exploración	Se exploran las ideas de los y las estudiantes con relación a los microorganismos, a su ubicación en la escuela mediante la recolección de evidencias, y a la descripción de primeras observaciones a partir de situaciones particulares.
Introducción de nuevos conocimientos	Se muestran los conceptos clave de la secuencia a través de un blog. A partir de esta información, se invita a los estudiantes a rastrear más información a modo de <i>Webquest</i> , sobre la diversidad de microorganismos. Posteriormente, se proponen dos situaciones concretas en las que están involucrados los microorganismos, y después se observan a través del microscopio.
Síntesis	Se comunican los aprendizajes alcanzados a través de la elaboración de un cartel en el que exponen las descripciones de sus observaciones. Así mismo, se generan preguntas para la reflexión sobre lo observado y lo descrito.
Generalización	Se muestra la importancia de la biodiversidad en tres casos particulares: la relación entre bacterias nitrificantes y los frijoles, los microorganismos que habitan en nuestro rostro y la penicilina en la medicina. Se proponen preguntas que hacen hincapié sobre la importancia de observar a estos microorganismos.



Figura 7. Algunos elementos presentes en “Detectives de microorganismos”

En el proceso de diseño se incorporaron elementos relacionados con los componentes disciplinar-epistemológico (CDIS), didáctico (CDID) y de observación científica (COBS). Estos elementos se desglosan a través de la tabla 13 por fase de planeación y sesión de clase.

Tabla 13.

Relación entre las fases de planeación, las sesiones y los componentes CDIS, CDID y COBS (Elaboración propia).

Fase	Sesión	CDIS	CDID	COBS
Exploración	¿Qué sabemos sobre los microorganismos?	Características de los microorganismos	Exploración de ideas iniciales	Registro Descripciones gráficas y textuales
	Localizando a los microorganismos de nuestra escuela	Microecosistemas: ubicuidad	Trabajo práctico	Registro Descripciones Interpretaciones
	¿Qué observamos en nuestra vida cotidiana?	Microbioma y microbiota	Trabajo de Indagación	Percepción ante un fenómeno Registro Descripción Interpretación
Introducción de nuevos conocimientos	Una primera observación de	Características generales de los microorganismos	Estudios de caso (Webquest)	Descripción Interpretación

Fase	Sesión	CDIS	CDID	COBS
	los microorganismos			Razonamiento científico (generación de hipótesis)
	Retratos hablados	Características morfológicas y anatómicas de la biodiversidad	Trabajo de indagación	Descripción Interpretación Razonamiento científico
	Observar es más que ver	Características morfológicas de la biodiversidad y su relación con los ecosistemas	Trabajo práctico	Descripción Interpretación Razonamiento científico
Síntesis	Comuniquemos nuestros aprendizajes a la comunidad	Relación biodiversidad y la cotidianidad	Indagación	Razonamiento científico
Generalización	Aplicando la observación en diferentes contextos	Aplicando la observación en diferentes contextos	Indagación	Descripción Interpretación Razonamiento científico

Ante la imposibilidad de implementar este material en el aula de clases, planteo su fortalecimiento mediante dos estrategias: la exploración del pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas sobre los microorganismos, y la evaluación del contenido del diseño preliminar a través del juicio de expertos, que se desarrollan a través de los **capítulos 5 y 6**. Estos estudios ofrecieron elementos decisivos para el proceso de rediseño.

CAPÍTULO 5. “Nos perjudican y nos benefician”: explorando el pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas respecto a los microorganismos

Para cumplir con el primer objetivo específico de esta tesis: “Explorar el pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas sobre los microorganismos, a través de los aprendizajes escolares reportados, intereses, actitudes, conocimientos alternativos y asuntos sociales”, desarrollo en este capítulo los aspectos implicados en esta exploración: diseño y aplicación del cuestionario, características de los/las participantes, el tratamiento de los datos, los resultados obtenidos y la discusión correspondiente.

1. El pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos

Para el caso de esta tesis, considero que el pensamiento de los y las estudiantes de secundaria se consolidan a través de las ideas previas, un campo ampliamente estudiado en la enseñanza de las ciencias, que se establecen como un recurso que me permite reconocer lo que piensan los y las estudiantes sobre las estrategias de razonamiento, determinando el grado de relación o aproximación con las nociones científicas establecidas. Son relevantes para establecer la importancia de un tema en particular, con la finalidad de incluirlos o modificarlos dentro del currículo escolar (Fernández, Guerrero y Fernández, 2006).

Inicialmente, este campo se enmarcó en la psicología cognitiva, explorando los puntos de vista de escolares sobre términos relacionados con el conocimiento científico (Osborne y Gilbert, 1980; Osborne y Feryberg, 1991), así como su detección a partir del uso de mapas conceptuales y herramientas heurísticas (Novak, Gowin y Otero, 1988). No obstante, el trabajo de estudio de Driver, Guesne y Tiberghien (1985) dejó sentada la relevancia de estos conocimientos en la enseñanza de las ciencias.

En esta línea, el pensamiento de escolares se ha desarrollado a partir de las ideas previas o concepciones alternativas, reflejando las estrategias de razonamiento, las creencias y lo que consideran que saben (Campanario y Otero, 2000). Su indagación busca el acercamiento al aprendizaje significativo en la escuela, mediante las construcciones individuales que intentan explicar fenómenos científicos desde la experiencia cotidiana, la influencia de los medios de comunicación, las prácticas sociales en la escuela (Giordan, 1987), y las cuestiones afectivas y simbólicas que les rodean (Díez *et al.*, 2016). Estas ideas se consolidan a partir de una *biología intuitiva* que describe Garrido (2007) como aquella que se establece desde una *psicología ingenua* motivada por un *razonamiento causal intencional*. No obstante, las ideas previas pueden integrarse en los conocimientos científicos escolares, estableciendo una coexistencia dual o múltiple (Martínez y Mendoza, 2016).

Desde una perspectiva socioconstructivista, considero los aspectos sociales y culturales como parte del pensamiento (Vygotsky, 2013), cuyo origen parten de una confrontación con los sentidos, el contacto con el entorno social y escolar (Pozo, 1996), y las percepciones mentales sobre la realidad en un sistema cognitivo transformable y dinámico (Giordan y De Vecchi, 1999). Igualmente, reconozco que estos pensamientos pueden constituir tanto limitantes como alicientes para el aprendizaje.

Parte de las estrategias de enseñanza consisten en determinar que es lo que saben los niños y las niñas sobre un concepto para generar nuevas propuestas de enseñanza (Jiménez-Aleixandre 2003). Actualmente, en el ámbito de la Investigación Basada en Diseño (IBD), profundizar sobre el pensamiento de estudiantes sobre determinado concepto permite disminuir las brechas entre los objetivos de enseñanza y el análisis epistemológico de un concepto; definiendo la demanda de aprendizaje (Guisasola, Zuza, Ametler y Sarriugarte 2020).

El pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas se exploró en esta tesis a partir de los aprendizajes escolares reportados, intereses, actitudes, conocimientos alternativos y asuntos sociales. Este tipo de investigaciones se establecen dentro de los estudios de concepciones alternativas en educación en ciencias (*Students' Alternative Frameworks and Science Education*) (Campanario y Otero, 2000).

Existen diversos estudios que han profundizado sobre el pensamiento que poseen los y las estudiantes en torno a los microorganismos, centrados en las concepciones alternativas y las ideas previas. Desde la psicología experimental, el estudio realizado de Nagy (1953) en el que participaron estudiantes de 5 a 11 años en el Reino Unido, quienes realizaron dibujos, contestaron preguntas abiertas sobre los “gérmenes” y entrevistas. En su análisis concluyó que poseen una visión estereotipada de la enfermedad, con interés en las características de insectos que infectan al cuerpo humano. Posteriormente, Simmoneaux (2000) exploró las percepciones de estudiantes franceses de quinto de primaria sobre los microorganismos, a través de entrevistas. Concluyó que hay una prevalencia de ideas enfocadas en la enfermedad, principalmente sobre lo perjudicial que pueden llegar a ser el mundo microbiano.

Desde la perspectiva de la educación en ciencias, Jiménez-Aleixandre (2003) establece que hay una necesidad de ampliar las percepciones sobre los microorganismos. Así, conceptualmente sugiere que los y las escolares restringen las características de ser vivo a los animales únicamente, y que los microorganismos se originan de forma espontánea. En cuanto al campo de lo procedimental, agrupan a los microorganismos de acuerdo con semejanzas morfológicas, principalmente. Respecto a lo actitudinal, hay una asociación frecuente de los microorganismos con acciones perjudiciales, sin reconocimiento de su diversidad.

Además, Byrne (2011) afirma que las experiencias comunes de la vida tienen influencia en la consolidación de las concepciones alternativas sobre los microorganismos. Por lo tanto, deben considerarse por igual los conocimientos adquiridos mediante la educación formal (la de la escuela) como de la informal (casa, medios de comunicación o museos). De esta manera, concluyó la importancia de explorar los modelos, pues pueden ofrecer una visión de las ideas de los niños sobre los microorganismos y, por lo tanto, son potencialmente una herramienta de referencia útil para los desarrolladores del plan de estudios, así como para los profesores a la hora de planificar las secuencias de enseñanza.

Como se puede evidenciar en la tabla 14, el rastreo de estas concepciones se ha centrado, principalmente, en la escuela preescolar y la primaria, en contextos europeos y estadounidenses. Esto es importante resaltarlo, pues las concepciones sobre los microorganismos pueden variar de acuerdo con la cultura (Nagy, 1953). Además, desgloso referentes encontrados, que tratan de clarificar las ideas y percepciones de estudiantes de primaria y secundaria sobre los microorganismos, así como los participantes, las técnicas empleadas, los hallazgos y aportes a la discusión.

Tabla 14.

Antecedentes teóricos sobre el abordaje de las ideas previas/percepciones sobre los microorganismos. (MO: microorganismos).

Autor y año	País	Objetivo de la investigación	Participantes y nivel educativo	Participantes Métodos/técnicas	Hallazgos
Jones y Rua (2006)	Estados Unidos	Documentar lo que saben los estudiantes de diferentes edades sobre los “gérmenes” para examinar como varían sus concepciones.	Primaria, secundaria, preparatoria y profesional. 3 grupos de participantes (estudiantes, profesores y expertos/as en medicina. 63 estudiantes de quinto, octavo y undécimo grado.	Aplicación de dibujos y su descripción. Aplicación de una entrevista de diez preguntas sobre los MO. Categorización y codificación entre investigadoras.	Hay una <i>visión dicotómica</i> de los MO (buenos y malos) desde un contexto cultural. De esta manera, se clasifican en tres grupos, de acuerdo con el grado de contribución para el ser humano: los que son dañinos, los que no causan enfermedad, pero no benefician; y los que son beneficiosos. De esta manera, los pensamientos de los/las estudiantes se centran en sentimientos negativos. El sentido de <i>ubicuidad</i> es destacado, agregando que pueden identificarlos en “ambientes controlados” y “estériles”. Sin embargo, hay ciertos lugares “limpios” en los que no podrían vivir, como el jabón, una enfermería, el comedor, un hospital y el agua filtrada.
Byrne (2011)	Inglaterra	Indagar sobre los modelos mentales sobre MO de estudiantes de 7 a 14 años.	Primaria y secundaria. 458 niños y niñas de 7 (176), 11 (174) Y 14 años (108).	Aplicación de dibujos y su descripción, mapas conceptuales y entrevistas semiestructuradas. Aplicación de sistemas de categorías por puntajes, de acuerdo con lo sofisticado del modelo mental.	Se proponen tres <i>niveles progresivos</i> de modelos mentales: emergente (básico o inicial), transicional (intermedio) o extendido (avanzado). La <i>clasificación</i> de MO se establece mediante la morfología, el tamaño y las características de ser vivo. La función es definida en torno a la salud, a la higiene, la infección y a la enfermedad. En el ámbito ecológico, los MO se ubican en lugares insalubres, realizando funciones de descomposición de la materia orgánica. En el modelo extendido hay explicaciones sobre la relación de los MO con algunas aplicaciones

Autor y año	País	Objetivo de la investigación	Participantes y nivel educativo	Participantes Métodos/técnicas	Hallazgos
Ergazaki, Saltapida y Zogza (2010)	Grecia	Indagar las ideas de estudiantes de preescolar sobre la naturaleza, ubicación y apariencia de los “gérmenes”.	Preescolar. 35 estudiantes de preescolar (entre 4 y 5 años).	Aplicación de una entrevista semiestructurada organizada en tres partes: exploración de las ideas previas sobre los “gérmenes” a partir de dibujos y escritos, exploración de la atribución de funciones biológicas; y la creación de una historia para conceptualizar el papel de los MO.	tecnológicas, la elaboración de alimentos y el contexto ambiental. Los “gérmenes”, con formas <i>abstractas</i> , están asociados en su mayoría al cuerpo humano y a la higiene, e indican que allí se localizan. Establecen que la <i>mayoría de los MO</i> son malos o tienen un <i>papel perjudicial</i> . Las funciones biológicas están basadas en los prejuicios que causan para los humanos.
Karadon y Sahin (2010)	Turquía	Determinar el conocimiento básico, opiniones y percepciones relacionadas con los MO de estudiantes de primaria	Primaria. 836 estudiantes de 17 escuelas primarias.	Aplicación de cuestionario realizado por revisión de literatura con 20 preguntas. Análisis estadísticos descriptivos e interpretativos (análisis de frecuencias, T de Student, porcentajes y media aritmética).	La mitad de los estudiantes asocian a los MO con la <i>suciedad, contaminación y perjudicial</i> . Los estudiantes de primaria ven a los MO como "creaturas con estructuras simples", con características patógenas. Más de la mitad de los estudiantes no pudieron dar un ejemplo de MO, que no estuviera asociado a la enfermedad, por lo que no se entiende la relación entre estos y la higiene.
Díez, Iradi, y Arroita (2016)	España	Identificar los conceptos erróneos de los estudiantes de secundaria sobre los MO.		20 estudiantes de segundo año de Secundaria en Gipúscoa (País Vasco), con un promedio de 14,7 años.	La mayoría de los estudiantes reconocen a los MO como seres vivos, con formas <i>simplistas</i> . Los definen como seres vivos muy pequeños o microscópicos, causantes de enfermedades o infecciones. La <i>variedad</i> de MO se restringe a

Autor y año	País	Objetivo de la investigación	Participantes y nivel educativo	Participantes Métodos/técnicas	Hallazgos
Ballesteros, Paños y Ruiz-Gallardo (2018).	España	Determinar las ideas de estudiantes entre 8 y 11 años sobre los MO y analizar el abordaje de los microorganismos en libros de texto.		<p>Preguntas abiertas y cerradas sobre las funciones de los MO, si son buenos o malos y su ubicuidad.</p> <p>Aplicación de dibujos e interpretación de los autores.</p> <p>145 estudiantes de 8 a 11 años (tercero, cuarto, quinto de primaria de un colegio público).</p> <p>Aplicación de dibujo y dos preguntas abiertas, sobre las funciones de los MO y las fuentes de información de donde han escuchado hablar de los MO (a partir de una revisión de literatura).</p>	<p>las <i>bacterias</i>, y su papel en la descomposición de <i>material orgánico</i>. Destacan la reproducción y la nutrición como dos funciones vitales. No asocian su presencia a lugares con condiciones climáticas extremas.</p> <p>Siguiendo el análisis de Byrne (2011), as formas que atribuyen a los MO son abstractas, animales, bacterias o antropomórficas, pequeños (énfasis en lo microscópico sin entender la percepción de tamaño). La mayoría de los dibujos son en blanco y negro, con tonos verdes o amarillos. Las funciones que resaltan son: causar enfermedades, descomposición de los alimentos, ensuciar, perjudicar o fastidiar. Los ubican en el cuerpo humano, entornos sucios, suelo o baño. Algunos de sus beneficios son curar enfermedades, alimentos, vacunas o digestión. Las principales fuentes de información son medios de comunicación, programas de televisión.</p>

Cada una de las experiencias revisadas establecen distintas perspectivas sobre las ideas previas de los/las escolares sobre los microorganismos. Confirman la visión *dicotómica beneficio-perjuicio* que persiste, los *sentimientos negativos*, la *ubicuidad* asociada a la *insalubridad*. No obstante, los estudios se realizan en el contexto europeo, con niños y niñas de primaria, evidenciando la poca exploración de estas ideas en el ámbito latinoamericano. En el contexto de esta tesis, planteo que las ideas previas se configuran a partir de los aprendizajes reportados, los intereses, las actitudes; y las percepciones sobre los asuntos sociales, la localización, los procesos relacionados con los microorganismos.

En primera instancia, los **aprendizajes escolares reportados** son términos asociados y/o conceptos relacionados con los microorganismos, que han abordado los y las estudiantes en sus escuelas. Los aprendizajes escolares reportados se consideran como elementos que parten del *recuerdo* de los estudiantes, que informan sobre lo que probablemente han aprendido en sus clases de biología, incluyendo los términos que asocian a determinado concepto. Los recuerdos son elementos constituyentes de la memoria a *largo plazo*, y a pesar de que podrían ser incorrectos e incompletos, son *organizados* y se limitan a los *términos más importantes* (Barrantes y Blanco, 2004).

Por otro lado, Navarro (1994) establece que el **interés** es una dimensión afectiva, equivalente con la atención o a la curiosidad, que relaciona al sujeto y a la sujeta con el objeto de estudio cuando considera que es valioso para el o para ella. Por lo tanto, tiene una dimensión carencial (provocar una necesidad de aprender), afectiva (evocar actitudes valorativas y sentimientos de aprendizaje), cognitiva (reflexión previa a una actitud valorativa), y relacional (vehiculiza los objetivos de aprendizaje). Segura (2000, citado por Salamanca, 2017), argumenta que el interés se presenta cuando “*resulta de una necesidad íntima de quien aprende*” (p. 9), a una curiosidad intelectual desde una posición constructivista, que puede contribuir a la creación de nuevas estructuras partiendo de lo que saben los y las estudiantes.

Por su parte, las **actitudes** se definen como la valoración afectiva de un objeto (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo 2006). Explorar las actitudes frente a los microorganismos es relevante en el diseño de actividades que promuevan las emociones positivas, como, por ejemplo: la confianza y la satisfacción (Marcos-Merino, Esteban y Gómez, 2019); dejando de lado el temor y el miedo, sentimientos que se refuerzan por una visión de enfermedad e insalubridad a las que suelen estar asociados. Estos sentimientos suelen reforzarse por los medios de comunicación y libros de texto, que olvidan a menudo la relevancia de los microorganismos en la sociedad (Ballesteros *et al.*, 2018), aunado a sentimientos negativos como el asco (Jones y Rua, 2006).

La exploración de las **concepciones alternativas** de escolares sobre los microorganismos ha determinado una visión dicotómica (de beneficios y perjuicios) persistente desde un contexto cultural (Jones y Rua, 2006). Dentro de esta dicotomía, la visión perjudicial es la que ha

persistido en mayor medida, asociada a la enfermedad, al daño y a la muerte (Jones y Rua, 2006, Ergazaki *et al.*, 2010; Karadon y Sahin, 2010; Byrne, 2011). Por otro lado, suelen clasificarse desde el ámbito celular, reconociendo su carácter microscópico (Díez *et al.* 2016, Byrne 2011), con ideas morfológicas abstractas (Ergazaki *et al.*, 2010). Además, persisten las ideas de generación espontánea (Jiménez-Aleixandre, 2003).

Con relación a los **asuntos sociales** sobre los microorganismos, las ideas previas muestran que la acción de estos seres se enfoca hacia lo perjudicial (Ergazaki *et al.*, 2010). Así mismo, no hay un reconocimiento (o es parcial) sobre su influencia en la medicina, la industria y la agricultura (Ballesteros *et al.*, 2018). Además, existen dificultades por reconocer que convivimos con los microorganismos, debido a la información proveniente de fuentes de información televisivos como noticieros y programas científicos (Karadon y Sahin, 2010), enseñanzas en la escuela, confusiones lingüísticas, y mediaciones socioculturales de sucesos vividos por las y los estudiantes (Simoneaux, 2000). En esa medida, los asuntos sociales están vinculados a la dicotomía salud-enfermedad.

A partir de las construcciones anteriores, en la figura 8 esquematizo los principales componentes del pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos.

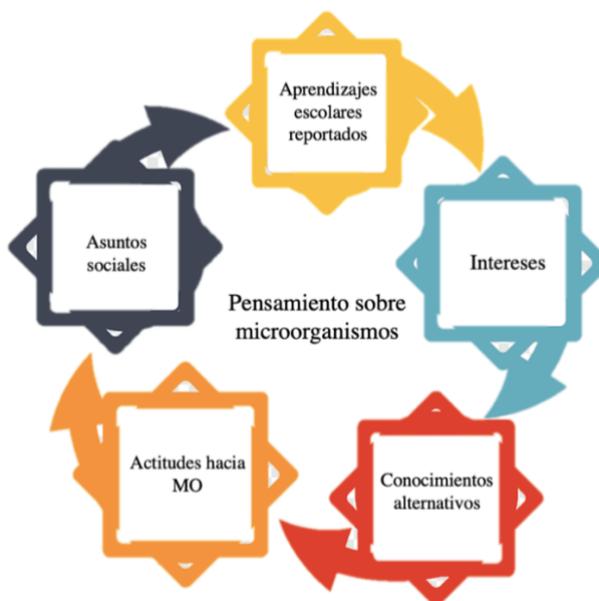


Figura 8. Elementos implicados en la exploración del pensamiento sobre los microorganismos.

Desde una perspectiva constructivista, las ideas previas sobre los microorganismos contribuyen a considerar el proceso de enseñanza y aprendizaje de manera progresiva, en la que están involucrados diversos factores contextuales, las tramas discursivas en el salón de clases y la participación del profesor y de la profesora. En este sentido, reconozco estas

concepciones como construcciones epistemológicas que pueden ser puntos de partida para reconfigurar la enseñanza de los microorganismos a través del diseño de material educativo. Hacer este reconocimiento también me permite establecer conceptos clave de dificultad, pero también identificar áreas de oportunidad, al plantear estrategias de enseñanza dentro del material educativo que refleje el pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos. Finalmente, esta proximidad teórica me permitió diseñar el cuestionario para indagar el pensamiento sobre los microorganismos.

2. Diseño e implementación de cuestionario

Para la exploración del pensamiento de estudiantes de secundarias mexicanas y colombianas diseñé un cuestionario en un formulario de Microsoft Forms, de la plataforma *Office 365* que ofrece CINESTAV ([Anexo 1](#)). Dicho instrumento, conformado por 25 preguntas, se dividió en varias secciones: preguntas abiertas, preguntas cerradas, preguntas en escala Likert y las preguntas de selección múltiple con única respuesta. La construcción de este instrumento se basó en las revisiones bibliográficas previas (Jiménez-Aleixandre, 2003; Byrne, 2011; Ergazaki *et al.*, 2010), y adaptaciones de otros cuestionarios, como el propuesto por Simmoneaux (2000) y Marcos-Merino *et al.* (2019). En la tabla 15 sintetizo las tres secciones del cuestionario, describiendo el tipo de preguntas formuladas, la finalidad de estas y el tipo de tratamiento que se dio a los datos.

Tabla 15.

Descripción por secciones, tipos de preguntas y finalidad de los reactivos del cuestionario diseñado. Elaboración propia.

Sección	Tipo de preguntas	Descripción general
Primera parte	Datos generales	Recabar los datos generales de los/las participantes (país, estado/departamento, ciudad/municipio, edad, género, grado de escolaridad, tipo de escuela -pública o privada-).
Segunda parte	Preguntas abiertas	Indagar en los y las estudiantes términos asociados a los microorganismos, lo que han aprendido en sus clases de biología sobre estos seres; los intereses a partir de lo que le preguntarían a un experto en microbiología; y los asuntos sociales en los que podrían estar vinculados los microorganismos.
Tercera parte	Preguntas cerradas	Determinar dos elementos: la presencia de los microorganismos en diferentes lugares comunes (plantas, el interior de la boca, la sala de operaciones de un hospital, el suelo de un parque, un charco de agua sucia, una naranja podrida, y el interior de una botella de alcohol antiséptico); y la relación de estos con procesos ecológicos, industriales y biotecnológicos (producción de alimentos, tratamiento de aguas residuales, producción de plásticos, fermentación de bebidas).

Sección	Tipo de preguntas	Descripción general
		alcohólicas, descomposición de materia orgánica, la prevención de enfermedades y la elaboración de cosméticos).
Cuarta parte	Preguntas cerradas en Escala Likert	Examinar si los y las estudiantes estaban de acuerdo o en desacuerdo con algunos enunciados, que consideran actitudes o creencias frente a la acción de los microorganismos en distintos ámbitos. El y la participante podía seleccionar tres opciones de respuesta: de acuerdo, en desacuerdo o ni de acuerdo ni en desacuerdo.
Quinta parte	Preguntas cerradas de selección múltiple con única respuesta	Evaluar el grado de conocimiento de los estudiantes sobre conocimientos básicos de microbiología (Simoneaux, 2000; Jiménez, 2003). Estas preguntas se adaptaron a la complejidad de escolares de secundaria, a partir del cuestionario validado por Marcos et al. (2019), cuya aplicación fue realizada para docentes en formación inicial.

La primera sección de preguntas recabó datos generales de los participantes. La segunda sección (**preguntas 1 a 4**) estaba conformada por dos tipos de interrogantes: preguntas abiertas sobre términos asociados, los aprendizajes escolares reportados, intereses y asuntos sociales; y preguntas cerradas, que exploraron la ubicuidad en lugares comunes y no tan comunes. Mediante la tabla 16 se especifica el aspecto que explora cada una de las preguntas planteadas.

Tabla 16.

Preguntas de la segunda sección, junto con el aspecto específico a explorar. Elaboración propia.

Pregunta	Aspecto por explorar
(1) Indica cinco términos o palabras que consideres que están relacionadas o están asociadas a los microorganismos	Términos que asocian los/las estudiantes a los MO
(2) ¿Qué has aprendido sobre los microorganismos en tus clases de biología?	Reporte de aprendizajes: conceptos, temas o contenidos abordados en las clases de biología en la escuela
(3) ¿Qué le preguntarías a un(a) experto(a) en microorganismos? ¿Qué quisieras saber sobre ellos?	Intereses de los/las escolares sobre los MO
(4) ¿Qué asuntos sociales consideras que están relacionados con los microorganismos?	Cuestiones sociales que pueden estar vinculadas con los MO

Las preguntas cerradas de la segunda sección (**5 y 6**) se enfocaban en determinar dos elementos: la presencia de los microorganismos en diferentes lugares comunes (plantas, el interior de la boca, la sala de operaciones de un hospital, el suelo de un parque, un charco de agua sucia, una naranja podrida, y el interior de una botella de alcohol antiséptico), y la

relación de estos con procesos ecológicos, industriales y biotecnológicos (producción de alimentos, tratamiento de aguas residuales, producción de plásticos, fermentación de bebidas alcohólicas, descomposición de materia orgánica, la prevención de enfermedades y la elaboración de cosméticos).

Por otro lado, la **tercera sección** de preguntas en Escala Likert buscaba examinar si los estudiantes estaban de acuerdo o en desacuerdo con algunos enunciados que consideraban actitudes (positivas y negativas) frente a la acción de los microorganismos, con tres opciones de respuesta: **de acuerdo; en desacuerdo, o ni de acuerdo ni en desacuerdo** (tabla 17). Finalmente, la última sección con preguntas de selección múltiple consistió en rastrear concepciones alternativas sobre los microorganismos, adaptando su comprensión a escolares de secundaria, adaptadas a partir del cuestionario validado por Marcos-Merino *et al.* (2019).

Tabla 17.

Enunciados de la pregunta 7: Establece si estás de acuerdo o en desacuerdo con las siguientes afirmaciones. Elaboración propia.

Enunciado	Creencias o actitudes frente a los microorganismos	
Debemos cuidarnos de todos los microorganismos porque nos pueden causar enfermedades	Visión exclusiva de los MO como agentes infecciosos o que causan enfermedades	Actitud negativa
Los microorganismos no benefician en nada a mi comunidad	MO sin importancia para la comunidad	Actitud negativa
Le tengo temor a los microorganismos	Miedo a los MO	Actitud negativa
La idea de tener microorganismos cerca de mí me da asco	Asco o desagrado	Actitud negativa
Es necesario que haya personas que estudien a los microorganismos para el beneficio de nuestra sociedad	MO benefician a la sociedad	Actitud positiva
Algunos microorganismos son útiles para hacer vacunas	Importancia científica de los MO	Actitud positiva
Los microorganismos siempre están en lugares sucios como la basura	Asociación de MO a lugares insalubres	Actitud negativa

Finalmente, la cuarta parte, conformada por las **preguntas 8 a 17**, de selección múltiple, consistió en rastrear concepciones alternativas sobre los microorganismos, adaptando su comprensión a escolares de secundaria, adaptadas a partir del cuestionario validado por Marcos-Merino *et al.* (2019). Este contraste lo establezco a través de la tabla 18.

Tabla 18.

Cuadro comparativo entre las preguntas de la encuesta y el cuestionario de Marcos et al. (2019).

Pregunta de la encuesta	Cuestionario validado por Marcos <i>et al.</i> (2019)
(8) ¿Qué funciones vitales realizan los microorganismos?	(2) Respecto a las funciones vitales realizadas por los microorganismos
(9) ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es CORRECTA?	(3) Señala la afirmación correcta
(10) ¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?	(9) ¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?
(11) ¿A qué microorganismos matan los antibióticos?	(13) ¿A qué microorganismos matan los antibióticos?
(12) ¿Después de qué acción no es necesario lavarse las manos?	(15) Imagina que trabajas en un restaurante. ¿Después de qué acción hay lavarse las manos?
(13) ¿En cuál de los siguientes ambientes no hay microorganismos?	(12) ¿En cuál de los siguientes ambientes no hay microorganismos?
(14) ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es INCORRECTA?	(10) Señala la afirmación correcta
(15) ¿Con qué objetivo se añade cloro al agua?	(8) ¿Con qué objetivo se añade cloro al agua?
(16) Al tomar una muestra de sangre para un estudio clínico, te tratan la zona con alcohol antes de pincharte para...	(14) En una extracción de sangre te tratan la zona con alcohol antes de pincharte para...
(17) Después de tocar saliva, mocos o flemas de un enfermo de gripa debes lavarte las manos:	(4) Después de tocar los fluidos de un enfermo de gripe debes lavarte las manos:

- *Muestra:* La muestra intencional no probabilística (Schrager y Reyes, 2001) estuvo compuesta por 315 estudiantes de escuelas secundarias mexicanas (82%) y colombianas (18%), cuya edad promedio fue de 13 años, que participaron voluntariamente y a distancia mediante dispositivos electrónicos. La elección de estas poblaciones se basó en la identificación cultural, a la facilidad de acceso en el contexto de la contingencia sanitaria por COVID-19 y al contacto disponible con profesores de ambas nacionalidades. En la tabla 19 desglose el grado escolar, el género y el tipo de escuela.

Tabla 19.

Desglose de la muestra por grado, sexo y tipo de escuela (N: nombre, M: Masculino, F: femenino).

País	N	Grado escolar			Género			Tipo de escuela	
		1°	2°	3°	M	F	Otro	Publica	Privada
México	259	99	67	93	122	136	1	225	34

Colombia	56	31	12	13	26	30	0	33	26
-----------------	----	----	----	----	----	----	---	----	----

Los estudiantes de México que participaron provenían del Estado de Hidalgo (49%), Nuevo León (27%), Ciudad de México (14%), Estado de México (8%), Tabasco y Tamaulipas (<1%). Por su parte, los y las participantes de Colombia provenían de Bogotá en su totalidad.

Hay notables diferencias en los niveles de secundaria y en los currículos de Ciencias Naturales en ambos países. La escuela secundaria mexicana está compuesta por tres grados. En el primero, el currículo se orienta a contenidos de biología; mientras que, en segundo y tercer grado se orientan a física y química, respectivamente. En contraste, en el contexto colombiano, se establece la educación secundaria básica en cuatro años (sexto, séptimo, octavo y noveno); y en la cual, biología es una asignatura del currículo obligatorio en todos estos niveles. Para efectos de selección de la muestra en el caso colombiano, se seleccionaron a los participantes que cursaban sexto, séptimo y octavo grado. Sin embargo, cabe aclarar que la finalidad de este estudio es estrictamente descriptiva, y no comparativa.

- *Difusión del cuestionario:* La estrategia de difusión consistió en contactar a profesores y profesoras de biología y directores de escuelas privadas de México y Colombia, con vínculo virtual (sincrónica o asincrónica) con estudiantes de secundaria a través de plataformas virtuales, o redes sociales como Facebook o WhatsApp, a causa de la contingencia sanitaria por COVID-19. El enlace al cuestionario permaneció abierto desde el 4 de junio hasta el 31 de julio de 2020 (57 días).
- *Sesgos:* La muestra de este estudio estuvo compuesta por estudiantes de secundaria con tecnología disponible y acceso a internet. Esto implica tener en cuenta la condición económica y el contexto socialmente privilegiado, en comparación a otros estudiantes. Además, algunas respuestas fueron extraídas de sitios web, asunto detectado en el análisis de resultados. Por tanto, no se pretende hacer generalizaciones de los resultados con esta muestra en particular.

Los análisis llevados a cabo se establecieron en dos tipos: cualitativos y cuantitativos. De esta manera, los datos se almacenaron en un archivo de Microsoft Excel. En este formato, se filtraron las respuestas correspondientes a la muestra principal, excluyendo respuestas incomprensibles o faltantes.

Para graficar los términos que asocian los estudiantes, se empleó la “nube de palabras”, que visibiliza las palabras con mayor frecuencia. Para llevarlo a cabo, se realizó una primera limpieza de los datos en un archivo de Microsoft Excel, corrigiendo los errores ortográficos (plural de las palabras, minúsculas, eliminación de puntos y comas). Acto seguido, se trasladó el listado de palabras al generador en línea “Nube de palabras”

(<https://www.nubedepalabras.es/>). Finalmente, la imagen resultante fue trasladada en formato JPG.

Para la categorización *a posteriori* de las respuestas abiertas, se realizó una lectura y relectura entre investigadores de las respuestas. Estas categorías se robustecieron teóricamente teniendo en cuenta los estudios previos (Jiménez-Aleixandre 2003, Ergazaki *et al.* 2010, Byrne 2011, Ballesteros *et al.* 2018). El proceso de codificación se apoyó mediante el software cualitativo Dedoose (<https://www.dedoose.com/>), y se cuantificaron mediante porcentajes.

- *Procesamiento de datos cuantitativos:* Para iniciar el procesamiento de los datos cuantitativos se realizó una limpieza de estos, filtrando las respuestas de la muestra seleccionada. Posteriormente, se organizaron y codificaron los datos por cada una de las preguntas y por participante. Finalmente, los datos se procesaron a través del software SPSS, por medio de estadísticas descriptivas, gráficos de barras y un histograma de distribución de frecuencias.

3. Resultados obtenidos

Se procesaron en total 1604 respuestas de los/las estudiantes que respondieron el cuestionario. La figura 9 evidencia que las palabras con mayor frecuencia fueron bacterias, virus, hongos, células, microbios y protozoos. Desde el campo semántico, la mayoría de estos términos son sustantivos, confiriéndole al término «microorganismos» un carácter polisémico, y una asociación con las palabras «microbios» y «organismos». Los adjetivos que sobresalen están vinculados a características generales de los microorganismos: «unicelulares», «procariotas», «eucariotas» y «microscópicos».



Figura 9. Nube de palabras elaborada en la página web: <https://www.nubedepalabras.es/>

Las palabras con mayor frecuencia, provenientes del lenguaje científico escolar, se han introducido en el léxico de los y las estudiantes, frente a los términos cotidianos, que indican nociones sobre el tamaño, como «pequeño», o posibles acciones o efectos del contacto con los microorganismos, como «enfermedades». En la tabla 20 se muestran las diez primeras palabras con mayor frecuencia de la nube, confirmando que el término “bacteria” es el más repetido.

Tabla 20.

Las diez primeras palabras con mayor frecuencia de la nube de palabras.

Frecuencia	Término	Tipo de palabra
209	bacterias	Sustantivo
164	virus	Sustantivo
102	hongos	Sustantivo
83	células	Sustantivo
75	microbios	Sustantivo
46	protozoos	Sustantivo
44	organismos	Sustantivo
42	algas	Sustantivo
41	unicelulares	Adjetivo
36	microscopio	Sustantivo

Frente a los aprendizajes reportados, el porcentaje de las categorías de la tabla 21 muestra una mayor frecuencia en temas relacionados con las características generales de los seres vivos (45%), en el que se resaltan cuestiones vinculadas al tamaño pequeño y microscópico (25%), a la necesidad de verlos a través del microscopio (9%), algunas características morfológicas externas (9%) y a las pocas posibilidades de verlos a simple vista (1%). La segunda categoría con el porcentaje más alto corresponde a la clasificación, generalmente por características celulares: unicelulares y pluricelulares (16%). En contraste, las categorías con menor porcentaje están relacionadas con las enfermedades (6%), la importancia científica y tecnológica (5%) y las funciones biológicas (2%). En el proceso de categorización también surgieron respuestas que mostraban una relación con el contexto de la pandemia causada por el virus del COVID-19 (1%).

Tabla 21.

Frecuencias y porcentaje de las categorías asociadas al aprendizaje reportado por los participantes.

Categoría	Subcategoría	%	% acumulado
Características generales	Tamaño pequeño o microscópico	25%	45%
	Son seres vivos	1%	
	No se pueden ver a simple vista	1%	
	Uso del microscopio	9%	
	Morfología externa	9%	
Funciones vitales (nutrición, respiración, relación)		2%	
Tipos y clasificación por número de células		16%	
Enfermedades		6%	
Ecología y evolución		2%	
Localización		4%	
Vinculado a la pandemia por COVID-19		1%	
Importancia científica		5%	
Reconocimiento de colonias		1%	
No sabe/no responde		3%	
Temas sin relación directa		3%	
Respuestas derivadas de búsqueda de internet		4%	
Nos benefician y nos perjudican		6%	
Errores conceptuales		2%	
Total		100%	

- *Intereses*

Con relación a los intereses sobre los microorganismos, cuyos resultados se observan en la tabla 22, la categoría con mayor porcentaje fue la de características generales (28%), principalmente a la variedad y la clasificación (12%). La segunda, “funciones vitales” (19%), alojó respuestas relacionadas con la nutrición, la reproducción y la relación con otros organismos (incluyendo el ser humano). La tercera, ecología y evolución (17%) hizo referencia a aspectos adaptativos (como la capacidad de sobrevivir a hábitats extremos), los lugares dónde pueden habitar, el origen y descubrimiento. Y la cuarta, estuvo relacionada a la importancia científica y tecnológica (16%), en la que se agruparon las respuestas vinculadas a la utilidad, la investigación científica y a la producción de vacunas o antibióticos. Otras categorías tienen porcentajes menores al 10%, como la peligrosidad y la sospecha desde la enfermedad (9%) y respuestas asociadas a la pandemia por COVID-19 (1%).

Tabla 22.

Frecuencias y porcentaje de las categorías asociadas a los intereses. Elaboración propia.

Categoría	Subcategoría	% subcategoría	% categoría
Características generales	Variedad y clasificación	12%	28%
	Definición	2%	
	Tamaño y escala	2%	
	Observación en el microscopio	4%	
	Morfología externa	6%	
	Nominación	1%	
	Semejanzas y diferencias	1%	
Funciones vitales como la nutrición, la respiración y la relación		19%	19%
Ecología y Evolución	Adaptaciones	2%	17%
	Ubicuidad	4%	
	Origen y descubrimiento	11%	
Importancia científica y tecnológica	Utilidad	2%	16%
	Importancia en la vida cotidiana	5%	
	Investigación científica actual	2%	
	Importancia médica	2%	
	Manipulación artificial de los microorganismos	1%	
	Interés en el trabajo del científico	1%	
	Antibióticos, vacunas y medicamentos	3%	
	Peligrosidad y sospecha desde la enfermedad		
Sin interés en el tema/no contesta la pregunta		6%	6%
Vinculado a la pandemia por COVID-19		1%	3%
Sin relación directa		3%	1%
Saber todo		1%	1%
Total		100%	100%

- *Actitudes*

La tabla 23 muestra que la mayoría de los participantes dieron respuestas asociadas a actitudes positivas como la importancia científica (94,6%) y la utilidad (88,6%). Con relación a las actitudes negativas, hubo un acuerdo mayoritario en la prevención hacia todos los

microorganismos (58,4%) y lo insalubre (42,9%). En contraste, se registró mayor porcentaje de desacuerdos en actitudes como el temor (52,4%) y la falta de beneficios (54,3%). No obstante, el sentimiento de asco obtuvo un resultado neutro (59,4%).

Tabla 23.

Características sobre estudios que exploran el pensamiento de escolares sobre los microorganismos.

Actitud	Enunciado	De acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
Negativa-prevención	Debemos cuidarnos de todos los microorganismos porque nos pueden causar enfermedades	58,4%	20,6%	21%
Negativa-sin beneficios	Los microorganismos no benefician en nada a mi comunidad	21,6%	54,3%	24,1%
Negativa-temor	Le tengo temor a los microorganismos	20,6%	54,3%	27%
Negativa-asco	La idea de tener microorganismos cerca de mí me da asco	19,7%	21%	59,4%
Positiva-importancia científica	Es necesario que haya personas que estudien a los microorganismos para el beneficio de nuestra sociedad	94,6%	4,1%	1,3%
Positiva-utilidad	Algunos microorganismos son útiles para hacer vacunas	88,6%	7,9%	3,5%
Negativa-insalubridad	Los microorganismos siempre están en lugares sucios como la basura	42,9%	19,4%	37,8%

- *Concepciones alternativas*

Los resultados se derivaron de dos preguntas en particular. La primera, en escala, relacionada con el sentido de ubicuidad de los microorganismos; y la segunda, sobre concepciones alternativas. Respecto a la ubicuidad, los resultados de la tabla 24 evidencian que la mayoría de los estudiantes reconoció la presencia de los microorganismos en el entorno, como plantas (96,5%) y la boca humana (88%). También en lugares que pueden considerarse como asépticos, como la sala de operaciones de un hospital (77,1%). La diferencia se presentó al indagar sobre la presencia de estos seres al interior de una botella de alcohol antiséptico, pues la mayoría contestó de forma negativa (49,2%).

Tabla 24.

Porcentaje de respuestas sobre los lugares en los que podrían localizarse los microorganismos.

Enunciado	Si	No	No se
En las plantas	96,5%	0,6%	0,9%
En el interior de tu boca	88%	4,10%	7%
En la sala de operaciones de un hospital	77,1%	11,1%	11,7%
En el suelo de los parques	93,3%	2,2%	4,4%
En el charco de agua sucia	95,6%	2,5%	1,9%
En una naranja podrida	88,6%	2,5%	8,9%
Al interior de una botella de alcohol antiséptico	26,3%	49,2%	24,4%

Estos resultados me indican que los y las participantes localizan a los microorganismos en diferentes lugares, más allá de lugares insalubres. Además, aparecen relaciones directas con el cuerpo humano, lo que indicaría que hay una consciencia sobre nuestra convivencia con los microorganismos. Dos procesos están asociados: el de la higiene oral y la descomposición de los alimentos. En contraste a lo reportado por Gerónimo y López (2017), los y las estudiantes que participaron en este cuestionario si atribuyen a los microorganismos funciones de degradación de materia orgánica.

Por otro lado, no hay una tendencia clara cuando se indaga la presencia de los microorganismos en un lugar como la botella de alcohol antiséptico. Cabe destacar que, el contexto de aplicación de este cuestionario se enmarcó en el desarrollo de la pandemia por la COVID-19; aspecto que podría apoyar la idea de que el uso del alcohol antiséptico no permitiría la vida microbiana. No obstante, también infiero que hay poca claridad en la comprensión sobre los mecanismos adaptativos de los microorganismos para habitar lugares con condiciones extremas, ignorando (por ejemplo) la existencia de los microorganismos alcohólico-resistentes.

Con relación a las concepciones alternativas, los resultados de la tabla 25 exponen que el porcentaje de aciertos es mayor en las preguntas que se relacionan con la imposibilidad de observar a los microorganismos a simple vista (78,7%), la relación con funciones vitales (nutrición, interacción con otros organismos y la reproducción) (67%); algunos ejemplos como bacterias y levaduras (50,8%), las acciones pertinentes de higienización como el uso de gel antibacterial y la esterilización de una zona corporal para algún procedimiento médico como la extracción de sangre (82,5%). Los puntajes totales obtenidos por los estudiantes tienen una distribución que tiende a la normalidad, como se puede observar en el histograma de la figura 10. El rango de los puntajes más frecuentes fue de 7, de un máximo de 10 puntos

posibles; con una desviación estándar de 1,58 (el rango del puntaje total fluctúa o varía entre 4 y 7 aciertos, con un promedio de 6 respuestas correctas).

De esta manera, infiero que los y las estudiantes que participaron en la resolución del cuestionario, poseen un conocimiento inicial de base. No obstante, como punto de oportunidad, considero importante profundizar sobre las respuestas proporcionadas en dos preguntas en particular, que se relacionan con la acción de los antibióticos con grupos específicos de microorganismos, y las ideas de generación espontánea en el contexto microbiano.

Tabla 25.

Porcentaje de aciertos y desaciertos por pregunta procesada.

Pregunta	Porcentaje	
	Acierto	Desacierto
¿Qué funciones vitales realizan los microorganismos?	67%	33%
¿Cuál de las siguientes afirmaciones es CORRECTA?	78,7%	21,3%
¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?	50,8%	49,2%
¿A qué microorganismos matan los antibióticos?	47,6%	52,4%
¿Después de qué acción no es necesario lavarse las manos?	87,6%	12,4%
¿En cuál de los siguientes ambientes no hay microorganismos?	54,6%	45,4%
¿Cuál de las siguientes afirmaciones es INCORRECTA?	32,4%	67,6%
¿Con qué objetivo se añade cloro al agua?	38,7%	61,3%
Al tomar una muestra de sangre para un estudio clínico, te tratan la zona con alcohol antes de pincharte para	82,5%	17,5%
Después de tocar saliva, mocos o flemas de un enfermo de gripa debes lavarte las manos	93,3%	6,7%

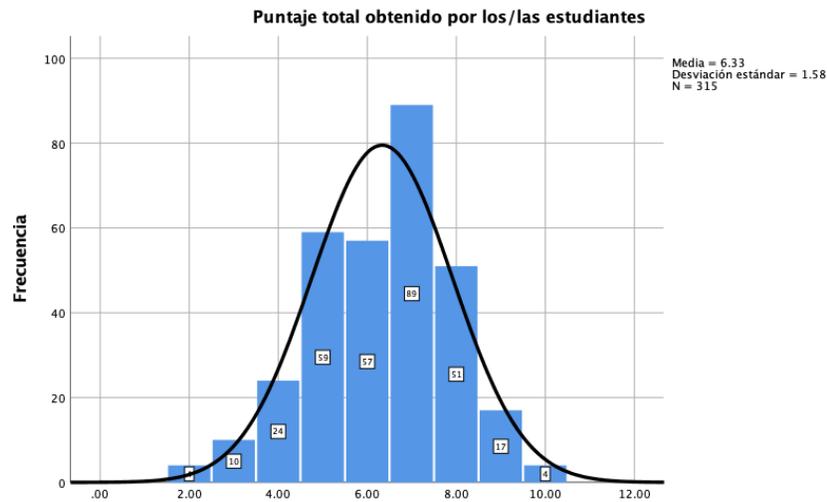


Figura 10. Distribución de puntajes totales obtenidos por los y las estudiantes en las preguntas 15 a 24. Elaborado en SPSS versión 25.

Concretamente, las preguntas que obtuvieron mayor puntaje de desacuerdo se relacionan con la acción de los antibióticos (52,4%), el ciclo de vida de los microorganismos (67,6%) y la esterilización del agua. Los participantes no tienen una claridad respecto al efecto de los antibióticos sobre las bacterias, confundiendo su acción sobre los virus (34,3%) o todos los microorganismos (14,29%). Lo anterior se presenta en la figura 11. Esto me puede indicar que no es clara la comprensión de la acción de los antibióticos sobre las bacterias.

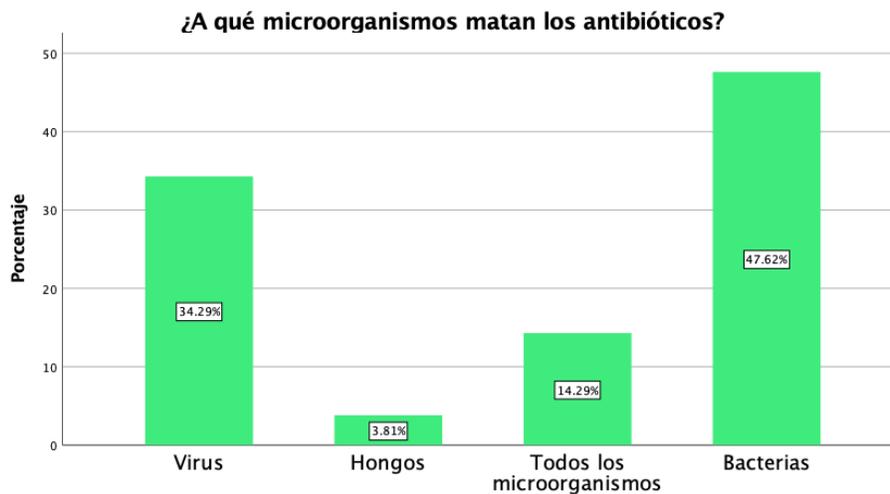


Figura 11. Porcentaje de las opciones de respuestas de la pregunta 11. Elaborado en SPSS versión 25.

Por otro lado, la figura 12 muestra los resultados obtenidos en la pregunta 14, de carácter distractora, que tenía como finalidad que el o la estudiante eligiera la respuesta con el enunciado incorrecto: “*los microorganismos pueden aparecer de repente donde no los había*” (32,38%). Sin embargo, la suma de las respuestas con enunciados correctos supera la elección de la respuesta indicada en este reactivo: “los microorganismos tienen un ciclo de vida” (20,63%), “los microorganismos se reproducen en condiciones apropiadas” (24,44%), “los microorganismos provienen de otros microorganismos (22,54%). De acuerdo con lo anterior, infiero que aún persisten ideas sobre la generación espontánea en el caso de los microorganismos, o bien, aún no se comprende de qué manera la evolución microbiana se ha llevado a cabo.

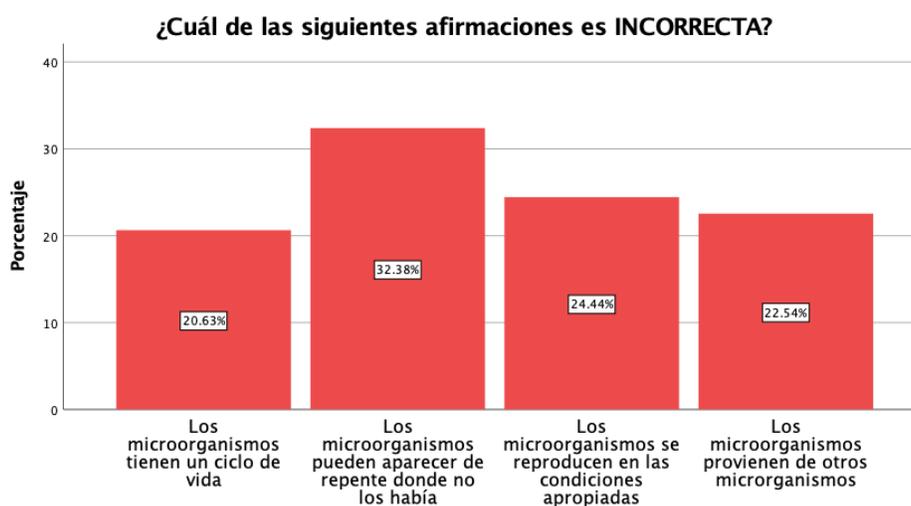


Figura 12. Porcentaje de las opciones de respuestas de la pregunta 14. Elaborado en SPSS versión 25.

- *Asuntos sociales relacionados*

Respecto a los asuntos sociales relacionados con los microorganismos cuyos resultados se muestran en la tabla 26, la categoría con mayor frecuencia estuvo relacionada con la visión patológica de los microorganismos (la enfermedad derivada del contacto, los efectos de estos sobre el sistema inmunitario y las consecuencias por la pandemia de COVID-19) (37%). Otra categoría con una frecuencia alta estuvo relacionada con la medicina, la salud y hábitos de higiene (18%).

En contraste, otras categorías tuvieron menor frecuencia, pero no dejan de ser relevantes. Por ejemplo, se hallaron respuestas relacionadas con las implicaciones económicas (3%), en la investigación científica y en la consolidación de este conocimiento (7%), el uso de los microorganismos en la ancestralidad y su papel histórico (1%), su relación con la agricultura

y la alimentación (4%), la modificación de las conductas sociales (3%); en la pobreza, el bienestar de la ciudadanía, la calidad de vida y los servicios públicos (2%).

Tabla 26.

Porcentaje de las categorías asociadas a los asuntos sociales.

Categoría	Subcategoría	% subcategoría	% categoría
Enfermedades y patologías	Enfermedades derivadas del contacto con microorganismos	22%	37%
	Relacionado con la pandemia por el virus SARS CoV-2	14%	
	Efectos en el cuerpo humano	1%	
Medicina, salud y hábitos de higiene	Medicina	3%	18%
	Salud	9%	
	Vacunación y antibióticos	3%	
	Hábitos de higiene	3%	
Implicaciones en la ciencia	Investigaciones científicas	3%	7%
	Conocimiento científico	4%	
Relación humano-microorganismos		6%	6%
Afectaciones en el ambiente	Contaminación como un problema asociado a la aparición de bacterias y virus	2%	6%
	Interacciones con otros organismos	4%	
Implicaciones económicas		3%	3%
Uso de los microorganismos en la ancestralidad y la historia		1%	1%
Implicaciones en la agricultura y en la alimentación		4%	4%
Modificación de las conductas sociales		3%	3%
Están involucrados en todo		2%	2%
Pobreza, bienestar de la ciudadanía		2%	2%
No sabe/no responde		7%	7%
Virus y bacterias		4%	4%
Total		100%	100%

4. Discusión del pensamiento de estudiantes respecto a los microorganismos

Con relación a los términos asociados y los aprendizajes escolares reportados, los estudiantes de secundaria, en su mayoría, asociaron a los microorganismos como bacterias, como lo confirman Díez *et al.* (2016) y Marcos-Merino *et al.* (2018). Desde el punto de vista semántico, reconocieron algunas características celulares, provenientes del lenguaje científico escolar; y reconociendo algunos tipos, tratando de clasificarlos. Aunque es positivo

el manejo de términos del lenguaje de la biología, no implica una comprensión profunda de la misma. Sin embargo, en la secundaria hay mayor conocimiento de la variedad de estos seres, mencionando otros ejemplos comunes, pero como menciona Jiménez-Aleixandre (2003), no hay un respaldo conceptual hacia elementos más complejos, como su *diversidad*. Los resultados obtenidos coincidieron con lo reportado por Díez *et al.* (2016), pues los participantes establecen dentro de sus recuerdos que los microorganismos son individuos cuya observación es posible gracias al microscopio, imposibles de ver a simple vista y con elementos morfológicos sencillos.

Por su parte, los intereses (vistos desde el punto de vista de la curiosidad) son mayoritariamente conceptuales (Navarro, 1994). Sin embargo, hay un interés minoritario en conocer la importancia de los microorganismos en la ciencia, en la tecnología, en la sociedad y en la economía. En ese sentido, existe una exclusividad disciplinar de la biología en el abordaje de los microorganismos en la escuela. Desde la visión de naturaleza de la ciencia, este concepto es visto desde el cúmulo de conocimientos que no necesariamente están vinculados con otros, como si fuera una interpretación simplista de su evolución e independiente de otros saberes (Fernández, Gil Pérez y Valdés, 2005). De esta manera, hay poca relación de estos temas con otros campos del currículo, lo que refiere una visión carente de *interdisciplinariedad*, que podría ser aprovechada para abordar la importancia de los microorganismos desde otros campos del saber.

Por otro lado, la actitud negativa “sin beneficios a la comunidad” está ausente, y sobre la utilidad en la elaboración de vacunas están presentes. Sin embargo, la actitud negativa de temor a los microorganismos está ausente, y la prevención está presentes en la mayoría de los y las estudiantes. En contraste con lo reportado por Jones y Rua (2006), el asco a los microorganismos mostró un sentimiento neutro. Marcos-Merino *et al.* (2019) sugieren que estas emociones podrían disminuir al implementar actividades prácticas e integradoras.

La visión prevencionista de los microorganismos juega un papel importante en los procesos de alfabetización científica en microbiología. Este aspecto ha provocado, como lo declara Fraga (2018) en la consolidación de una visión pesimista de la microbiología en la historia, el abordaje en la escuela y en la comunidad. A pesar de que existen microorganismos que si podrían afectarnos y enfermarnos, estos son muy pocos a comparación de la vida microbiana que permite la existencia de la humanidad.

Así mismo, los datos muestran que los estudiantes identificaron que los microorganismos pueden ubicarse en todas partes, y no exclusivamente en sitios contaminados o insalubres. Gerónimo y López (2017) indicaron que los estudiantes tienen dificultades para comprender que los microorganismos pueden estar en cualquier lugar, incluyendo elementos orgánicos en descomposición. Sin embargo, ubicaron a los microorganismos en diversos lugares que no están asociados a contaminación, como otros seres vivos y lugares comunes, una

diferencia que se puede establecer a partir de los estudios de Byrne (2011) y Ballesteros *et al.* (2018) con respecto a escolares de primaria.

Igualmente, hay dificultades para comprender las condiciones extremas en las que podrían estar localizados los microorganismos. Lo anterior abre una oportunidad para explicar en las clases la acción antimicrobiana del alcohol antiséptico, o los mecanismos adaptativos que han adquirido los microorganismos para estar presentes en lugares como hospitales, o ecosistemas con condiciones climáticas extremas, como los volcanes, aguas termales, o glaciares.

Frente a las concepciones alternativas, hay altos porcentajes de acierto en las funciones vitales que realizan los microorganismos, así como de sus características vinculadas al ámbito celular (Byrne 2011); el uso de gel antibacterial, la esterilización clínica y la higiene de manos, como lo establecen Jones y Rua (2006). En contraste, se evidenciaron dificultades para establecer el efecto de los antibióticos sobre las bacterias, sin una comprensión sobre las condiciones en las cuales sobreviven, persistiendo las ideas sobre la generación espontánea (Jiménez-Aleixandre 2003).

Con relación a los asuntos sociales, los resultados sugieren que las dos categorías con mayor frecuencia podrían tener una relación intrínseca, marcando dos tendencias: la salud y la enfermedad. Tal y como se reporta en Jones y Rua (2006), Ergazaki *et al.* (2010) y Byrne (2011), las ideas de los estudiantes se relacionan con el beneficio o en el daño que puedan causar los microorganismos en las personas. Esta perspectiva se deriva de una visión estereotipada de la enfermedad (Nagy, 1953; Simmoneaux, 2000) que, en la secundaria persiste. Por lo tanto, existe una visión antropocéntrica, influenciada por las experiencias personales y lo simbólico (Jiménez-Aleixandre, 2003).

Al explorar lo que aprenden los estudiantes en sus clases, los intereses y los asuntos sociales, surgieron algunas respuestas vinculadas a la pandemia por COVID-19. Estas respuestas reflejan que los estudiantes no son indiferentes ante el contexto actual de pandemia. También confirma el carácter cultural del pensamiento a través de las ideas iniciales (Nagy, 1953). Lo anterior evoca la necesidad de profesores, currículo, libros de texto y demás comunidad educativa de vincular al estudiantado de secundaria al aprendizaje de las ciencias más enfocada hacia la realidad (Ballesteros *et al.*, 2018). Por ello, es importante alfabetizar científicamente en microbiología, permitiendo la formación en pensamiento crítico (Timmis *et al.*, 2019), sin demeritar los conceptos prevencionistas, que pueden reforzar visiones equivocadas sobre la contingencia sanitaria.

Complejizar las ideas previas mediante la exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos puede ser una oportunidad para dirigir el esfuerzo didáctico hacia la variedad y la variabilidad, involucrando conceptos como el de *microbiota*

o *microbioma*, que requieren una mayor complejidad epistémica-evolutiva (O'Malley 2014). Además, el abordaje del sentido de ubicuidad podría girar en torno a la determinación de las características de los lugares en los que podrían estar presentes, señalando los mecanismos adaptativos y evolutivos de los organismos, pues existen dudas sobre lugares en condiciones extremas, como una botella de alcohol antiséptico, disminuyendo la percepción negativa, que asocia la presencia de los microorganismos exclusivamente a la insalubridad (Ballesteros *et al.* 2018).

Los conceptos microbiota y microbioma se derivan de explicaciones de la biología integrativa, que involucran aspectos evolutivos, ecológicos y genéticos de la biodiversidad. La incorporación de estos conceptos a nivel de secundaria podría abrir espacios para un abordaje que promueva el pensamiento sistémico, y que el profesor o la profesora reflexione sobre la diversidad como un concepto metadisciplinar. Así mismo, daría espacio a que los y las estudiantes consideren ideas integrativas que se desligan de la visión pesimista de la microbiología, y que intentan complejizar las relaciones entre los microorganismos y los seres humanos más allá de los beneficios y los perjuicios.

Por otro lado, ampliar el pensamiento hacia los asuntos sociales podría aportar a una visión más interdisciplinar, sistémica y compleja de los microorganismos en el diseño de un material educativo; debido a que están involucrados en muchos ámbitos de la vida, que en la clase de biología no suelen reconocerse: sociales, políticos o culturales (Timmis *et al.* 2019). De esta manera, se extendería el panorama hacia una educación en microbiología más integradora entre los conocimientos que están dentro del currículo (Byrne, 2011).

5. Conclusiones

Los resultados que obtuve señalan tendencias en el pensamiento de los estudiantes de secundaria en relación con los microorganismos. Los aprendizajes reportados y los intereses están asociados con un conocimiento disciplinar proveniente de la microbiología. Identifiqué respuestas relacionadas con el carácter microscópico, los tipos y la clasificación de acuerdo con características celulares, como lo unicelular y lo pluricelular.

Desde los asuntos sociales, los microorganismos se establecen desde la visión dualista de daño y beneficio, la salud y la enfermedad. Sin embargo, las respuestas minoritarias reconocen la participación de estos organismos en áreas más amplias y complejas desde el punto de vista económico, social, histórico, cultural y político. Considero que este último aspecto representa una oportunidad para abordar el tema de los microorganismos desde visiones de la microbiología más integrativas en el currículo. Los microorganismos tienen un efecto muy amplio en la economía y en el bienestar de la humanidad, elementos que no se comprenden ni se abordan en las clases de biología. Solo una proporción muy pequeña de la

microbiodiversidad está asociada a la patogenicidad, contribuyendo al mantenimiento de los ecosistemas y de la vida en la tierra.

Aún queda espacio para explorar ideas más específicas y acotadas sobre la relación entre los microorganismos y los seres humanos. En futuras investigaciones, puede resultar de especial interés explorar ideas relacionadas con microorganismos e inmunidad, conciencia sobre la diversidad de microorganismos y diferencias evolutivas entre los mismos; así como posibles explicaciones y argumentos sobre el papel de los microorganismos en ciclos, procesos evolutivos y/o realidades sociales. Considero que el reconocimiento y toma de conciencia sobre los microorganismos y su diversidad constituye un paso importante en la superación de la visión antropocéntrica que está en la base de acciones que promueven el deterioro de la salud humana, el equilibrio ambiental, social y cultural.

CAPÍTULO 6. Evaluación del material educativo preliminar: aplicación de juicio de expertos y expertas

Para dar cumplimiento al objetivo particular: Evaluar el contenido de una versión inicial del material educativo a través de un juicio de expertos y expertas en didáctica de las ciencias, en microbiología y profesores en ejercicio de secundaria; apliqué un juicio de expertos, definida como una opinión informada de personas con trayectoria en un tema determinado, reconocidos por otros como expertos y expertas, para proporcionar información, evidencia, juicios y valoraciones (Escobar y Cuervo, 2008; Martínez y Mendoza, 2017).

1. Antecedentes sobre el juicio de expertos

El juicio de expertos para la evaluación del contenido de un material educativo puede resultar ventajoso, en cuanto se establecen opiniones argumentadas; que, si bien no son acuerdos unánimes, sirven para identificar las debilidades y las fortalezas de aquello que se esté evaluando. El análisis subsecuente permitirá la toma de decisiones respecto a que modificar, integrar o eliminar en el nuevo material (Galicia, Balderrama y Navarro, 2017). Sin embargo, también existen diversos problemas como la cantidad de dimensiones a medir, la extensión, confusiones entre la definición del objetivo del instrumento y las dimensiones que lo componen, la falta de claridad en los criterios, entre otros (Galicia *et al.* 2017). Cabero y Barroso (2013) señalan como ventajas: (1) la calidad teórica de las respuestas alcanzadas, (2) la profundidad de las respuestas obtenidas, y (3) la recolección de información pormenorizada. Por otro lado, los problemas de aplicar esta estrategia están relacionada con la falta de claridad en la definición de “experto/a”, y la selección de ellos/ellas.

Otros estudios han llevado a cabo distintos tipos de evaluación de contenido de instrumentos, implementación o validación de contenidos. Por ejemplo, en el estudio instrumental llevado a cabo por Ávila-Camacho, Juárez-Hernández, Arreola-González y Palmares-Virrarreal (2019), se diseñó un instrumento para evaluar la práctica docente en el proceso de implementación de una secuencia didáctica y se analizaron propiedades psicométricas de validez de contenido, validez de constructo y confiabilidad. Se evaluaron once ítems por 10 jueces: problema del contexto, análisis de saberes previos, gestión del conocimiento, contextualización, recursos, organización de actividades, evaluación y metacognición. Los autores concluyeron que la evaluación de los 11 elementos contribuyó a una aplicación y análisis rápido. Así mismo, destacaron la importancia de la evaluación cuali-cuantitativa, confirmando la pertinencia de las dimensiones del constructo.

Por otro lado, en el estudio de Hernández y Cerda (2019) se aplicó el juicio de expertos para la evaluación del diseño de una planeación didáctica desde un enfoque socio formativo, mediante ocho expertos. Las dimensiones del instrumento se enfocaron en el diseño de la

planeación didáctica (aprendizajes esperados, contexto del grupo, elementos curriculares) y de la ejecución de la planeación didáctica (problemas del contexto, la secuencia de actividades, los recursos y la organización grupal y la evaluación). El análisis cuantitativo de la evaluación aportó a la mejora de los aprendizajes esperados, los elementos curriculares y en la evaluación. Finalmente, concluyen que la revisión por expertos “permitió la corroboración de los elementos propuestos (...) apoyando en la mejora de la redacción de instrucciones, ítems y descriptores” (p. 174).

2. Procedimiento para la ejecución del juicio de expertos

Para llevar a cabo el juicio de expertos para la evaluación del contenido del material educativo preliminar llevé a cabo cinco etapas, de acuerdo con lo que sugieren Escobar y Cuervo (2008), y Martínez y Mendoza (2017):

1. *Definición el objetivo del juicio de expertos:* Evaluar el contenido del material educativo diseñado preliminarmente, a partir de un instrumento de evaluación.

2. *Definición de dimensiones e indicadores a evaluar:* Para la evaluación propuse cuatro componentes centrales: componente disciplinar (CDIS), componente didáctico (CDID), componente de observación científica (COBS) y componente estructural (CEST). En aquellos ejes, se establecieron once indicadores o ítems: (1) tratamiento didáctico de la biodiversidad, (2) relación entre los objetivos y la propuesta del material, (3) lenguaje, (4) introducción al profesor, (5) ilustraciones, (6) coherencia con los trabajos prácticos, (7) relación con el contenido disciplinar, (8) organización del material, (9) un recurso en particular como un “*Bio-blog*”, (10) relación con la observación científica, y (11) la fuente o tipo de letra.

Mediante la tabla 27 especifico los ítems establecidos para la evaluación del material educativo preliminar.

Tabla 27.

Ítems o indicadores establecidos para el proceso de evaluación, con su respectivo código. Elaboración propia.

Componente	Indicadores/Ítems	Código
Disciplinar-epistemológico	Las finalidades de cada sección tienen relación con el contenido disciplinar.	FCD
Didáctico	El tratamiento didáctico de la diversidad de microorganismos es claro y pertinente.	TDMB
	La propuesta del material está bien orientada a los objetivos.	INP

Componente	Indicadores/Ítems	Código
	La introducción dirigida al profesor o a la profesora es entendible y coherente.	CTP
	Las actividades prácticas son coherentes.	RBB
	El apartado “ <i>Bio-blog: Secretos microbianos</i> ” está estructurado y es coherente.	ROM
	El lenguaje es el adecuado a la edad de los y las estudiantes.	ROC
Estructural-lógico	Las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido.	LNG
	La organización del material es adecuada.	ORG
	El tamaño y el tipo de fuente es el adecuado.	ILS
Observación Científica	Las actividades propuestas contribuyen a la aproximación sistemática a la habilidad de observación en los y las estudiantes.	FNT

3. *Diseño de formato*: Posterior a la elección de los ejes e indicadores de evaluación para los expertos diseñé el formato para la validación ([Anexo 2](#)), en el que explico a los y las participantes los objetivos del material, los elementos centrales de la propuesta didáctica y las instrucciones para llevar a cabo el jueceo. En términos generales, se dividió en dos partes. En la primera parte se establecieron los once ítems en una escala Likert de tres niveles (de acuerdo, en desacuerdo, y neutral); mientras que en la segunda parte se establecieron tres preguntas abiertas, consultando a los y las participantes las fortalezas del material, debilidades y recomendaciones que podrían plantear para mejorarlo.

4. *Selección de expertos*: se realizó de acuerdo con lo propuesto por Escobar y Cuervo (2008) y Ávila-Camacho (2019). Solicité a siete expertos, cuatro hombres y tres mujeres de Colombia y México, en tres campos de experiencia: didáctica de las ciencias, el campo disciplinar en microbiología, y docentes en ejercicio con experiencia en secundaria. Estos datos se relacionan mediante la tabla 28. A cada participante se le asignó un seudónimo, para garantizar el anonimato.

Tabla 28.

Información de los expertos seleccionados para la evaluación del contenido del material educativo preliminar. Elaboración propia.

Campo de experiencia	Formación profesional	Ocupación	País	Seudónimo
Didáctica de las ciencias	Licenciado en Biología Maestro en Educación Doctor en Educación	Docente investigador	Colombia	Gilberto
Didáctica de las ciencias	Biólogo Maestro en Ciencia, Tecnología y Sociedad Doctor en Educación	Docente investigador	México	Gustavo

Campo de experiencia	Formación profesional	Ocupación	País	Seudónimo
	Doctor en Enseñanza, historia y filosofía de la Ciencia			
Microbiología	Bióloga y microbióloga Maestra en Ciencias Doctorado en Ciencias en la especialidad de Biotecnología	Docente investigadora	Colombia	Lina
Microbiología	Bióloga Maestra en Ciencias en la especialidad de Investigaciones Educativas	Divulgadora y Comunicadora Científica Independiente	México	Natalia
Docente en ejercicio	Licenciado en Educación mención Biología Maestro en Innovación y Formación Docente Maestro en Educación en Biología para la Formación Ciudadana	Docente escuela secundaria	México	Edison
Docente en ejercicio	Licenciado en Biología Especialista en Educación en Tecnología	Docente escuela secundaria	Colombia	Styven
Docente en ejercicio	Bióloga Estudiante Maestría en Educación en Biología para la Formación Ciudadana.	Docente escuela secundaria	México	Rocío

5. *Aplicación:* Posterior al diseño del formato para la evaluación, invité a los expertos en los tres campos de experiencia mediante correo electrónico. Se enviaron tanto el formato diseñado, como la versión preliminar del material educativo en PDF modificable, para que los expertos y las expertas pudieran realizar comentarios en el contenido. El tiempo de respuesta máximo fue de un mes, aproximadamente. Los formatos con las respuestas fueron resguardados mediante archivos en OneDrive.

Mediante el esquema de la figura 13, establezco las cuatro etapas del juicio de expertos y expertas para la elaboración del material.

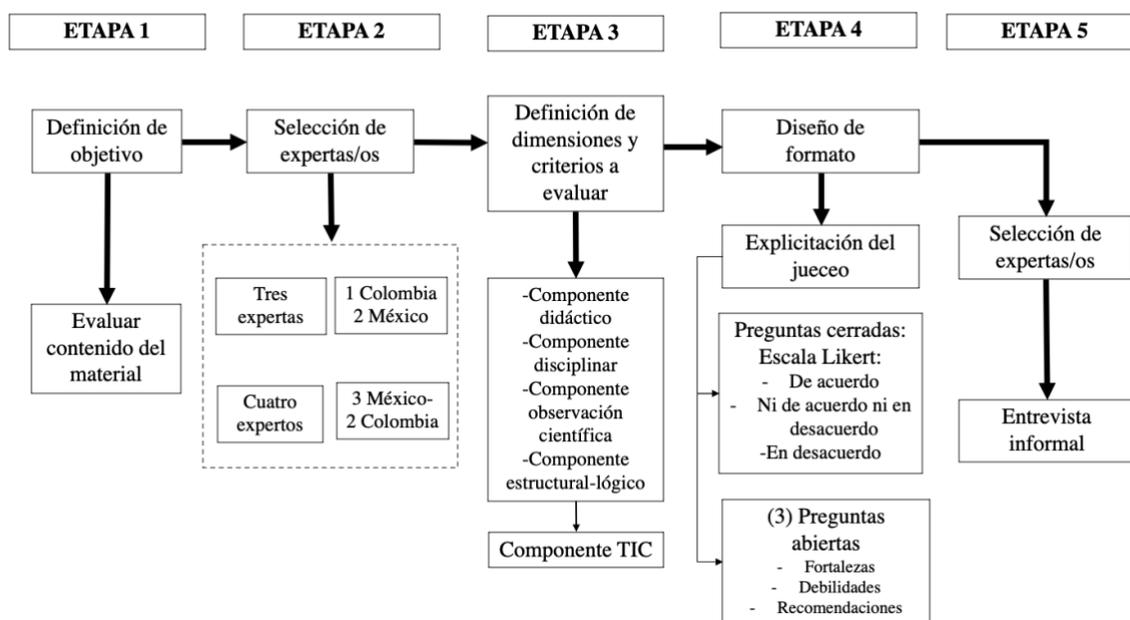


Figura 13. Esquema general del proceso de juicio de expertos y expertas. Elaboración propia.

3. Entrevista informal

Ante la posibilidad de que se necesitase la ampliación de alguna evaluación u observación de quienes participaron en el jueceo, propuse la entrevista informal, como una estrategia que permitió, en algunos casos, la conversación de los expertos o las expertas con comentarios que ameritaran la ampliación o extensión. Estas conversaciones giraron en torno a dos elementos, que contribuyeron a comprender algunos comentarios: (1) la relevancia del abordaje de la biodiversidad en la escuela secundaria y (2) el énfasis en la observación científica en el material educativo. Esta charla se llevó a cabo mediante la plataforma Microsoft Teams que ofrece el Cinvestav.

Los criterios de selección de expertos y expertas para la entrevista fueron los siguientes:

1. Entrega del formato de evaluación en tiempo y forma.
2. Uno o más desacuerdos en la evaluación por ítems.
3. Registro de observaciones divergentes que ameritaban una ampliación por parte de los y las participantes.

4. Procedimiento para el tratamiento de los datos

Dos tipos de análisis se llevaron a cabo. El primero se realiza de forma *cuantitativa*, a través de los acuerdos, desacuerdos y las respuestas neutras que fueron proporcionadas. Además,

tuvimos en cuenta el campo de experiencia para el análisis, contribuyendo a profundizar en aquellas perspectivas que difirieron de la tendencia general, y que podrían aportar en comentarios para el proceso de reelaboración del material educativo.

Por otro lado, el segundo análisis se realizó de manera cualitativa. De esta manera, se procesaron las respuestas abiertas del proceso de evaluación (fortalezas, debilidades y recomendaciones) y las entrevistas realizadas de acuerdo con el análisis de contenido propuesto por Bardín (2011). Teniendo en cuenta lo anterior, el proceso analítico atravesó por tres etapas: (1) *exploración y preanálisis del material*, (2) *aprovechamiento* y (3) *tratamiento de resultados obtenidos*, que describiré a continuación.

- *Fase de exploración y preanálisis del material:*

Para la fase de preparación, seleccioné el material para el análisis. El *corpus* seleccionado fueron las respuestas abiertas suministradas por los expertos y expertas. Estas respuestas son de dos clases: textual y oral. Por un lado, lo **textual** proviene de las observaciones realizadas en el instrumento de evaluación, mientras que las respuestas **orales** son las transcripciones realizadas de la entrevista informal.

Las observaciones textuales provenientes del instrumento de evaluación se almacenaron en un archivo Excel ([Anexo 3](#)), discriminando las fortalezas, debilidades y recomendaciones; así como por el campo de experiencia de los expertos. Por otro lado, para el análisis de las entrevistas informales, se transcribieron en procesador de textos (Microsoft Word).

La delimitación del *corpus* de análisis se realizó teniendo en cuenta que las respuestas abiertas proporcionadas en el juicio son pertinentes y representativos. Por un lado, la pertinencia demuestra la claridad teórica, lo explícito y la profundidad de las respuestas, reflejando las intenciones de búsqueda y la recolección de información pormenorizada (Cabrero y Barroso, 2013). Y, por otro lado, la representatividad se asume como el reflejo de la experiencia atribuida, la trayectoria académica y la experiencia profesional de los expertos y las expertas.

Para la determinación de las unidades de análisis dividí las respuestas suministradas por los profesores y la profesora, a partir de criterios semánticos (adverbio de tiempo, conector oral). Por ejemplo: “[...] *entonces para mí la diversidad es digamos un concepto absolutamente fundamental*” (conector subrayado). Esta fragmentación de respuestas me ayudó a descomponer el texto, estableciendo “núcleos de sentido” desde un análisis temático, definiendo las ideas constituyentes y/o proposiciones que se pudieron aislar y que podrían significar algo para el objeto de estudio (Bardín, 2011). Finalmente, seleccioné los fragmentos de las observaciones y las transcripciones que podrían aportar significativamente a tomar decisiones frente al proceso de rediseño del material educativo.

- *Aprovechamiento del material:*

El aprovechamiento del material comenzó con etiquetar el material de análisis. Todas las respuestas escritas, como unidades de análisis, fueron etiquetadas, de acuerdo con el código del experto y el tipo de respuesta que proporciona (“F” para fortaleza, “D” para debilidad y “R” para recomendación). Mientras que, para las respuestas de la entrevista, se indicó el código y la letra “E”. Por otro lado, realizamos la creación deductiva de las categorías (*a posteriori*), a partir del sistema *dimensiones-categorías*, y la codificación se realizó mediante *frecuencia* (número de comentarios por categoría).

Las categorías se establecieron teniendo en cuenta las dimensiones evaluadas en el instrumento de evaluación. La descripción de estas categorías se desarrolla a través de la tabla 29.

Tabla 29.

Descripción del sistema de dimensiones y categorías. Elaboración propia.

Dimensión	Categoría	Descripción
CDIS	Relación con el contenido disciplinar	Menciona elementos relacionados con el contenido disciplinar propio de la microbiología
	Actividades	Resalta fortalezas frente a las actividades (tiempo, coherencia y/o pertinencia)
	Estructura del material	Destaca la estructura del material
CDID	Recursos	Menciona la importancia de los recursos dentro del material y/o su flexibilidad. Puede mencionar la importancia del Bio-blog como recurso didáctico.
	Trabajo individual	Resalta elementos vinculados con el trabajo individual
	Trabajo en equipo/grupal	Menciona elementos relacionados con el trabajo en equipo o el trabajo grupal.
	Objetivos	Establece que los objetivos son claros y concretos
CEST	Introducción	Menciona la introducción del material como una de las fortalezas.
	Aspectos visuales y gráficos	Establece que las imágenes y los gráficos y narraciones son las adecuadas.
COBS	Respecto a la observación científica	Considera a la observación como una habilidad que se promueve satisfactoriamente dentro del material

- *Tratamiento de resultados obtenidos*

Finalmente, se realizó el tratamiento de los resultados obtenidos, mediante la interpretación de las unidades de análisis, reportando la frecuencia con la cual las categorías surgieron en el proceso de evaluación.

5. Resultados obtenidos

A continuación, presento el tratamiento de los resultados derivados del juicio de expertos. Este apartado se divide en las frecuencias generales de la evaluación por ítems, diferenciación por campo de experiencia, el procesamiento de las fortalezas, debilidades y recomendaciones. Posteriormente establezco las reflexiones para la toma de decisiones respecto al rediseño del material educativo.

- *Frecuencias generales de la evaluación por ítems*

En el componente disciplinar, seis de los expertos están de acuerdo con la relación entre las finalidades y el contenido disciplinar, mientras que uno tiene una posición neutra. Frente al componente didáctico, seis de los expertos coinciden en acuerdos frente al tratamiento didáctico de la biodiversidad y la coherencia con los trabajos prácticos; y cinco de ellos y ellas estuvieron de acuerdo con la introducción al profesor y el recurso *Bio-blog*. Sin embargo, dos expertos indican estar en desacuerdo con la relación de los objetivos y el material.

Con relación al componente de observación científica, seis de los expertos están de acuerdo mientras que hay un desacuerdo. Finalmente, frente a la estructura del material, hay un acuerdo total en el lenguaje y la fuente del material; mientras que cinco de los expertos están de acuerdo tanto en la organización como en las ilustraciones. Mediante la tabla 30, se registran las frecuencias de las respuestas suministradas por los/las expertos/as en el proceso de evaluación por ítems.

Tabla 30.

Frecuencias de las respuestas suministradas por los expertos y las expertas en el proceso de evaluación. Elaboración propia.

Dimensión	ITEM	Código	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo
CDIS	Las finalidades de cada sección tienen relación con el contenido disciplinar	FCD	6	1	

Dimensión	ITEM	Código	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo
	El tratamiento didáctico de la diversidad de microorganismos es claro y pertinente	TDMB	6		1
CDID	La introducción dirigida al profesor o a la profesora es entendible y coherente	INP	5	1	1
	Las actividades prácticas son coherentes	CTP	6		1
	El apartado “ <i>Bio-blog: Secretos microbianos</i> ” está estructurado y es coherente	RBB	5	1	1
	La propuesta del material está bien orientada a los objetivos	ROM	5		2
COBS	Las actividades propuestas contribuyen a la aproximación sistemática a la habilidad de observación en los y las estudiantes	ROC	6		1
CEST	El lenguaje es el adecuado a la edad de los y las estudiantes	LNG	7		
	La organización del material es adecuada	ORG	5	1	1
	Las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido	ILS	5	1	1
	El tamaño y el tipo de fuente es el adecuado	FNT	7		

Mediante el gráfico de la figura 14, establezco las frecuencias en los acuerdos, desacuerdos y las respuestas neutras de cada ítem, reducidos a través de códigos. En términos generales, el ítem “*la propuesta del material está bien orientada a los objetivos*” es el único que posee dos desacuerdos. La frecuencia de cada uno de los ítems evidencia el acuerdo general

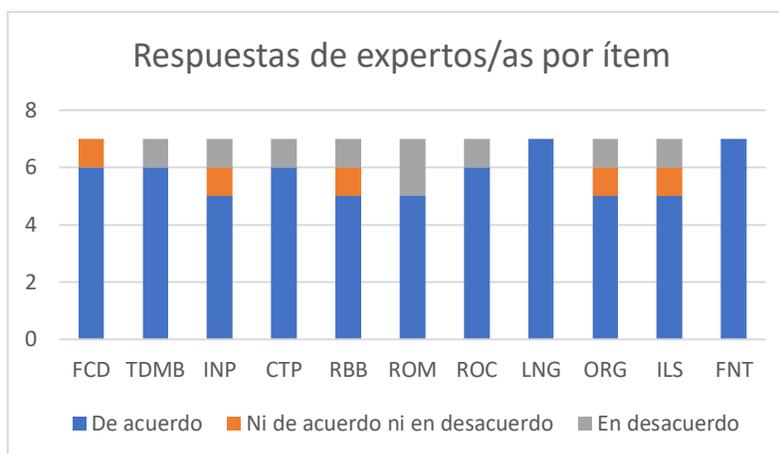


Figura 14. Gráfico de frecuencias de las respuestas dadas por cada uno de los expertos. Elaboración propia.

- *Diferenciación por campo de experiencia*

A continuación, establezco los acuerdos, desacuerdos y respuestas neutras por campo de experiencia, para reconocer puntos divergentes que podrían aportar al rediseño del material preliminar. En la tabla 31, se diferencian estas respuestas, señalando el código de cada ítem y su discriminación por cada una de las dimensiones.

Tabla 31.

Diferenciación de respuestas por campo de experiencia. Elaboración propia.

Dimensión	Código ítem	Campo de experiencia	Acuerdos	Neutros	Desacuerdos
CDIS	FCD	Didáctica	2		
		Microbiología	2		
		Profesores	2	1	
	TDMB	Didáctica	1		1
		Microbiología	2		
		Profesores	2	1	
	INP	Didáctica	1		1
		Microbiología	2		
		Profesores	2	1	
CDID	CTP	Didáctica	1		1
		Microbiología	2		
		Profesores	3		
	RBB	Didáctica	1		1
		Microbiología	1	1	
		Profesores	3		
ROM	Didáctica	1		1	
	Microbiología	2			
	Profesores	2		1	

Dimensión	Código ítem	Campo de experiencia	Acuerdos	Neutros	Desacuerdos
COBS	ROC	Didáctica	1		1
		Microbiología	2		
		Profesores	3		
CEST	LNG	Didáctica	2		
		Microbiología	2		
		Profesores	3		
	ORG	Didáctica	1		1
		Microbiología	1	1	
		Profesores	3		
ILS	Didáctica	2			
	Microbiología	1		1	
	Profesores	2	1		
FNT	Didáctica	2			
	Microbiología	2			
		Profesores	3		

En CDIS se presentó una respuesta neutra por parte del campo de profesores. Por otro lado, en CDID hay un desacuerdo proveniente del campo didáctico en cada uno de los ítems propuestos, a excepción del ítem “*la propuesta está bien orientada a los objetivos*”, con dos desacuerdos (del campo didáctico y uno de profesores de secundaria). En COBS, sólo se presenta un desacuerdo en el campo de la didáctica. Finalmente, en CEST solo hay dos indicadores que tienen desacuerdos: en la organización del material (en el campo de la didáctica), y en la relevancia de las ilustraciones (en el campo de la microbiología).

En términos generales, la mayoría de los desacuerdos registrados en la parte cuantitativa se concentran en los expertos del campo de la didáctica de las ciencias (siete desacuerdos). En contraste, se presenta un desacuerdo en el campo de la microbiología y 2 desacuerdos en los profesores y la profesora de secundaria. En la tabla 32, se establecen los totales de las respuestas por campo de experiencia.

Tabla 32.

Total de acuerdos, desacuerdos y respuestas neutras por campo de experiencia. Elaboración propia.

Respuesta	Didáctica	Microbiología	Profesores de secundaria
Acuerdos	15	19	28
Neutros	0	2	4
Desacuerdos	7	1	1

Ahora bien, considero pertinente identificar las respuestas suministradas de manera individual. Por ello, mediante la tabla 33, se diferencian las respuestas individuales, proporcionadas por cada uno/una de los/las expertos/as que participaron en la evaluación.

Tabla 33.

Discriminación de las respuestas de expertos/as. Elaboración propia.

Dimensión	ITEM	Código	Acuerdo	Neutro	Desacuerdo
CDIS	Las finalidades de cada sección tienen relación con el contenido disciplinar	FCD	Gilberto Gustavo Lina Natalia Edison Rocío	Styven	
	El tratamiento didáctico de la diversidad de microorganismos es claro y pertinente	TDMB	Gustavo Lina Natalia Edison Styven Rocío		Gilberto
CDID	La introducción dirigida al profesor o a la profesora es entendible y coherente	INP	Gustavo Lina Natalia Edison Rocío	Styven	Gilberto
	Las actividades prácticas son coherentes	CTP	Gustavo Lina Natalia Edison Styven Rocío		Gilberto
	El apartado “ <i>Bio-blog: Secretos microbianos</i> ” está estructurado y es coherente	RBB	Gustavo Lina Edison Styven Rocío	Natalia	Gilberto
	La propuesta del material está bien orientada a los objetivos	ROM	Gustavo Lina Natalia Styven Rocío		Gilberto Edison
	Las actividades propuestas contribuyen a la aproximación sistemática a la habilidad de observación en los y las estudiantes	ROC	Gustavo Lina Natalia Edison Styven Rocío		Gilberto

Dimensión	ITEM	Código	Acuerdo	Neutro	Desacuerdo
CEST	El lenguaje es el adecuado a la edad de los y las estudiantes	LNG	Gilberto Gustavo Lina Natalia Edison Rocío		
	La organización del material es adecuada	ORG	Gustavo Natalia Edison Styven Rocío	Lina	Gilberto
	Las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido	ILS	Gilberto Gustavo Natalia Edison Rocío	Styven	Lina
	El tamaño y el tipo de fuente es el adecuado	FNT	Gilberto Gustavo Lina Natalia Edison Styven Rocío		

En el campo de la didáctica de las ciencias, hay amplias diferencias entre las respuestas suministradas por cada uno de los expertos. En el caso de Gilberto se registraron desacuerdos en CDID, específicamente en la claridad y pertinencia del tratamiento didáctico de la biodiversidad, la introducción dirigida al profesor o a la profesora, la coherencia de las actividades prácticas, el apartado “*Bio-blog*”, y la relación entre los objetivos y el material; y en el CEST hay desacuerdo con la organización del material. En total, presentó siete desacuerdos, lo cual se puede inferir que este experto está en desacuerdo con el material preliminar. En contraste, Gustavo registra acuerdo en todos los indicadores.

Por otro lado, en el campo de la microbiología, se presentaron pocas diferencias entre ambas expertas. Lina registra un desacuerdo, en CEST, específicamente en el indicador “*las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido*”, y una respuesta neutra en la organización del material. Por su parte, Natalia sólo registra una respuesta neutra en el indicador “*El apartado “Bio-blog: Secretos microbianos” está estructurado y es coherente*”, estando de acuerdo con los indicadores restantes. Esta respuesta está asociada a la intención divulgativa del material, lo que tendría afinidades con los intereses académicos de Natalia, quien es Divulgadora y Comunicadora Científica independiente.

En el campo de profesores de secundaria, Rocío es la única que está en total acuerdo con los indicadores propuestos en la evaluación. Por su parte, Edison presenta un desacuerdo con el

indicador “*La propuesta está bien orientada a los objetivos*” en CDIS, y Styven registra dos respuestas neutras en los indicadores: “*Las finalidades de cada sección tienen relación con el contenido disciplinar*” del CDIS, y en “*Las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido*”, del CEST.

Frente al contenido disciplinar, solo se presentó una respuesta neutra por parte de Styven, profesor de secundaria. En cuanto al CDID, se presentaron dos respuestas neutras: en la introducción al profesor, por parte de Styven y el recurso Bio-blog por parte de Natalia, una de las expertas en microbiología. Al realizar esta distinción por campo de experiencia, se observó que Gilberto, experto en didáctica de las ciencias presentó desacuerdos con todos los ítems evaluados en el CDID, de observación científica, y en el ítem de organización del material del componente de CEST. Esto indicaría un desacuerdo general por parte de este experto. Por otro lado, Edison, uno de los profesores de secundaria señala estar en desacuerdo con la relación de los objetivos y el material. Realizar esta distinción de las respuestas por expertos y expertas permitió establecer que solo un experto en el campo de la didáctica de las ciencias que manifestó desacuerdos en varios aspectos de la secuencia didáctica.

- *Fortalezas del material*

Al contabilizar los comentarios por categoría de análisis, el componente más comentado fue CDID, con 14. Dentro de este componente, la mayoría de los comentarios se realizan dentro de la categoría de “recursos” (6 comentarios). El COBS recibió cinco comentarios. La menor cantidad de comentarios se presentaron en CEST (3 comentarios) y CDIS (1 comentario) Mediante la tabla 34, se muestra la cantidad de comentarios elaborados por cada uno de los expertos, señalizando las dimensiones, las categorías y su respectiva descripción.

Tabla 34.

Frecuencia de aparición de los comentarios por experto/experta (CAT: categoría; DIM: Dimensión, GI: Gilberto, Gustavo, Li: Lina, Na: Natalia, Ed: Edison, St: Styven, Ro: Rocío). Elaboración propia.

DIM	CAT	EXPERTOS							Totales		
		Gi	Gu	Li	Na	Ed	St	Ro	CAT	DIM	
CDIS	Relación con el contenido disciplinar							X		1	1
	Actividades		X					X		2	
CDID	Estructura del material	X		X						2	
	Recursos		X	X	X	X	X	X		6	14
	Trabajo individual				X					1	
	Objetivos						X			1	

DIM	CAT	EXPERTOS						Totales		
		Gi	Gu	Li	Na	Ed	St	Ro	CAT	DIM
	Trabajo en equipo/grupal				X			X	2	
CEST	Introducción					X			1	3
	Aspectos visuales y gráficos				X	X			2	
COBS	Respecto a la observación científica		X	X		X	X	X	5	5

A primera vista, las fortalezas se concentran en los **recursos incorporados** en el material educativo, y en la observación científica como habilidad central. Sin embargo, más allá de establecer cuál es la mayor fortaleza, es interesante hacer un esfuerzo por rescatar las voces de los expertos y las expertas. De esta manera, describo algunas observaciones consignadas en el instrumento de evaluación.

Con relación al CDIS, el comentario elaborado por Styven destaca la importancia del material para aportar en una de las problemáticas que subyacen cuando se abordan temáticas relacionadas con los microorganismos, más allá de las propuestas tradicionalistas:

“[...] Esta es una herramienta que puede especificar y aclarar los conceptos que no son aprendidos a simple vista o por medio de una educación pasiva donde solo hay contacto con el tablero” (Styven_F).

Dentro del CDID sobresale la categoría vinculada con los recursos como aquella que recibe mayores comentarios positivos, pues tanto Lina como Rocío resaltaron la importancia del *Bio-blog*, como un mecanismo que toma en cuenta los intereses de los estudiantes, además de ser de fácil acceso para ellos. La estructura del *Bio-blog* ofrece un esquema gráfico basado en un ambiente virtual, aspecto que rescata Rocío como un elemento que se podría acercar a la generación de los estudiantes:

*“[...] En ellas se ve claramente que se considera la capacidad de los alumnos y se toma en cuenta los intereses de esta generación dado el caso del *Bio-blog*” (Rocío_F). “Se prevé usar recursos de fácil consecución en las escuelas y que pueden ser manipulados sin dificultad por los estudiantes” (2ED2_F). “El blog es muy buena idea” (Lina_F).*

Por otro lado, en CDID, emerge una categoría relacionada con el trabajo en equipo o en grupo. Rocío indica que las actividades planteadas en el material se beneficiaban de esta modalidad de trabajo; mencionando lo innovador y el dinamismo, confirmando la respuesta positiva suministrada en la evaluación por ítems:

“[...] *Las actividades benefician el trabajo en equipo, son innovadoras, dinámicas e interesantes para la edad de los estudiantes cumpliendo las finalidades establecidas” (Rocío_F).*

En COBS, Lina indica que la observación es una habilidad que podría fomentar procesos relacionados con el pensamiento científico, como la formulación de preguntas, hipótesis y explicaciones. Se infiere que este comentario surge a partir de la experiencia de esta experta, que es profesora de microbiología en una universidad colombiana, y ha implementado propuestas educativas en escuelas secundarias de Bogotá:

“[...] *centrarse en la observación para el desarrollo del pensamiento científico me parece que es bastante acertado, también invita al estudiante a pensar y estructurar preguntas de cómo hacerlo, indagar un proceso y formular posibles hipótesis y explicaciones a lo que está sucediendo” (Lina_F).*

Por su parte, Styven comprende a la observación como un proceso de aprendizaje que podría anclar los contenidos propuestos en el material al contexto cotidiano de los y las estudiantes:

“[...] *La observación es un proceso de aprendizaje muy bueno y el acoplo de la temática con aspectos cotidianos permitirán una comprensión adecuada*” (Styven_F).

- *Debilidades y recomendaciones propuestas*

En el procesamiento de las respuestas dadas por los expertos y las expertas en la evaluación surgieron nuevas categorías, que no se tuvieron en cuenta en la valoración por ítems. Así mismo, surge una nueva dimensión relacionada con la adaptación del material a elementos propios de las tecnologías de la información y la comunicación. Las nuevas categorías se especifican mediante la tabla 35.

Tabla 35.

Categorías que surgen de la lectura de las respuestas abiertas correspondientes a las debilidades del material (CDIS: Campo disciplinar-epistemológico; CDID: Campo didáctico-pedagógico; CEST: Campo estructural-lógico; COBS: Campo de Observación Científica). Elaboración propia.

Dimensiones	Categoría	Descripción
CDIS	Concepción epistemológica de la biodiversidad	Se refiere a la perspectiva epistemológica y conceptual del material didáctico en el marco de la biodiversidad.

Dimensiones	Categoría	Descripción
CDID	Aspectos curriculares	Menciona elementos que se relacionan el currículo con los objetivos y finalidades de aprendizaje del material educativo.
	Fases de planeación	Se refiere a la estructura de planeación didáctica (cantidad de sesiones, el tiempo con relación a las fases de planeación)
	Evaluación y regulación de los aprendizajes	Elementos vinculados a los dispositivos que ofrece el material educativo para la verificación de los aprendizajes, la autoevaluación y la coevaluación.
	Papel del profesor	Establece características sobre el rol del profesor/de la profesora en el material educativo.
	Trabajo grupal e intercambio de ideas	Se refiere a los momentos en los cuales los y las estudiantes tendrán diálogo grupal para intercambiar ideas y construir aprendizajes de forma conjunta.
CEST	No se registran nuevas categorías	
COBS	Intercambio de ideas en la observación	Menciona el intercambio de ideas en el ámbito del trabajo en equipo para construir colectivamente los aspectos relacionados con la observación.
CTIC	Respecto a la adaptación a formato que permita la difusión del material.	Está anclado a la posibilidad de trasladar el material preliminar a un entorno virtual, que facilite la difusión, la recolección de respuestas y la evaluación.

En el proceso analítico, vinculamos las debilidades con cada una de las recomendaciones elaboradas por los expertos, teniendo en cuenta las categorías emergentes anteriormente señaladas. En esta sección, describimos brevemente los comentarios recibidos por componente, mediante el proceso de evaluación, que aportaron significativamente en el rediseño del material didáctico.

Componente disciplinar: Respecto al componente disciplinar, Gilberto sugiere la necesidad de hacer explícita la perspectiva epistemológica que sustenta a la biodiversidad:

“[...] *Es importante profundizar en la perspectiva epistemológica y conceptual desde donde se sitúa la secuencia didáctica*” (Gilberto_D).

Gilberto extiende este asunto en la entrevista informal. Resalta (varias veces) que la perspectiva epistémica de la secuencia permite profundizar sobre la idea de biología de microorganismos, o de microbiología que se pretende desarrollar en el material educativo:

“[...] sí, porque por ejemplo hay una idea de biología, pero hay una idea de biología de la biología de los microorganismos, pero cual es la idea de biología, ¿es una idea mecanicista con la regla de algunas estructuras de función? ¿O es una idea de biología sistémica? Diríamos mucho más en perspectiva de complejidad, son dos biologías. Entonces cuál es la perspectiva epistémica sobre la biología y sobre la microbiología que subyace en la propuesta didáctica” (Gilberto_E).

Esta observación implica explicitar la construcción epistemológica en la que se constituye la propuesta; a través de la filosofía de la microbiología de Maureen O’Malley, adaptando el estudio de los microorganismos desde la biodiversidad. De esta manera, concluye que, en realidad, son dos biologías: la **biodiversidad** y la **microbiología**.

Componente didáctico-pedagógico: La mayor parte de las debilidades se concentran en el componente didáctico. Edison establece que hay una falta de vinculación con los aprendizajes esperados mexicanos, al resaltar la poca reflexión sobre el papel de los microorganismos en aspectos culturales dentro del material educativo. Este aspecto requiere establecer las conexiones existentes entre los elementos curriculares y la concepción epistemológica del material:

“[...] Si bien, aunque me parecen actividades sumamente atractivas para la educación en biología, considero que la influencia del aprendizaje esperado “Explica la importancia ética, estética, ecológica y cultural de la biodiversidad en México” esta un poco fragmentada. Desde un principio se señala la influencia (no el tratado total), sin embargo, considero que, para vincularse un poco más, se podría solicitar una reflexión sobre cómo los microorganismos ayudan en procesos ecológicos o culturales. Tal vez una pregunta sobre como los microrganismos influyen en algunas tradiciones sería interesante (en las preguntas del caso 1)” (Edison_D).

En este mismo componente, Natalia señaló la relación entre las fases de planeación didáctica y la necesidad de explicitárselo a los estudiantes:

“[...] Quizás habría también que analizar mucho más la cantidad de actividades en cada fase y la posibilidad de también hacerle explícito a lxs alumnxs en cuál están” (Natalia_R).

Esta observación continúa con una necesidad de establecer las estrategias que permitan la regulación de los aprendizajes, la clarificación de las dudas y la posibilidad de retornar a las primeras actividades, cuando sea necesario. Cabe resaltar que Natalia está familiarizada con

las fases de planeación didácticas propuestas por Sanmartí (2002), mencionando intrínsecamente un desequilibrio entre cada una de las fases:

“[...] En lo personal pienso que si como estudiante, se le hace saber que ya estamos en la fase de síntesis, pero aún sigo teniendo lagunas sobre ciertos temas, quizás poner un alto en el desarrollo de las actividades, para clarificar lo visto en la fase de introducción de conocimientos” (Natalia_D).

Otra de las categorías que surge del análisis de las debilidades fue los aspectos vinculados a la evaluación y regulación de los aprendizajes. Con relación a la evaluación, Lina interroga el tipo de evaluación que maneja el material. La experta sugiere, de forma implícita, que se profundice en el tipo de evaluación y en los mecanismos que la sustentan, pues es un aspecto que no es claro dentro de la propuesta; que podría vincularse a los aspectos epistemológicos de la biodiversidad y de la observación científica:

“[...] Será una evaluación holística o analítica, o será una evaluación formativa. ¿Usará una rúbrica o lista de chequeo?” (Lina_D).

Por su parte, la categoría de trabajos y actividades prácticas presentan diversos comentarios, en los que se destacan la accesibilidad a un laboratorio o a herramientas especializadas, como el microscopio, y la difusión requiriendo la flexibilidad del contexto en el que se desarrolla el material preliminar y realizar recomendaciones al profesor o a la profesora:

“[...] La visita a un laboratorio no es accesible para todos los grupos (es importante señalarlo) y en el proyecto final hacer recomendaciones al respecto” (Edison_D). “Es importante pensar en alternativas si se quiere hacer difusión al material de aquellas escuelas que no cuente con microscopios” (Lina_D).

Tanto Lina (experta en microbiología) como Rocío (docente de secundaria, bióloga de formación) sugieren la necesidad de trasladar el trabajo práctico al contexto inmediato, como la búsqueda de microorganismos dentro del vecindario o el hogar, la exploración de los microorganismos de la boca o de productos cotidianos como el yogur; y que los datos se consoliden para su uso en sesiones posteriores. Destacan también, la importancia de indagar sobre los errores, la elaboración de análisis y conclusiones como procesos importantes para la retroalimentación de los aprendizajes:

“[...] Le sugeriría incluir un frotis del sarro dental para ver los microorganismos que tenemos en nuestra boca, y también un frotis de yogurt. Una actividad para casa podría ser aventurarse a hacer pan o yogurt en casa, o un proceso de fermentación casero y que puedan analizar los cambios. Análisis o conclusiones. Indagar sobre posibles errores en caso de que ocurran” (Lina_R). “Después de la

búsqueda de microorganismos en la escuela o después de informarse en el Bioblog, proponer la búsqueda de microorganismos en casa o el vecindario (quizá tan solo pensarlos), a manera de tarea cuyos resultados sirvan de retroalimentación al inicio de la siguiente sesión” (Rocío_R).

Estos comentarios se relacionan con una tendencia hacia el trabajo práctico como una estrategia de enseñanza para la “contextualización de la ciencia”, propuesta por Caamaño (2011). Para este autor, la enseñanza contextualizada se centra en procesos de indagación y el debate de problemas científicos en la sociedad, que invite a pensar en la forma como se construye el conocimiento científico y las formas de trabajar de la comunidad científica. Se infiere que esta perspectiva también se relaciona con la formación de ambas expertas, en ciencias experimentales como la biología y la microbiología.

Otro aspecto del componente didáctico subrayado en las debilidades está relacionado con el papel del profesor o de la profesora, y la falta de claridad en las orientaciones. Gustavo apunta a que las personas que deseen usar el material en sus clases tendrán preguntas y que deben preverse para que tengan la confianza suficiente para utilizarlo:

“[...] Creo que deben preverse las preguntas que puedan tener los docentes. Dichas preguntas pueden ser sobre el desarrollo de la actividad, pero también sobre conceptos que puedan ser confusos. Al respecto un glosario y una introducción conceptual sería relevante para que los profesores se sientan con confianza para emprender la actividad” (Gustavo_D).

Esto implica explicar la visión epistemológica, que le permita al profesor o a la profesora mejorar la comprensión, mediante un glosario, y una introducción conceptual para resaltar la relevancia de abordar la biodiversidad en el contexto de la observación científica.

Componente de observación científica: Otros comentarios se registran frente a la observación científica como una de las debilidades del material. Gilberto sugiere que es importante hacer un análisis de la observación, teniendo en cuenta una perspectiva contemporánea de las ciencias. Por otro lado, señala que es imperativo incorporar elementos que profundicen la idea de la observación para el desarrollo del pensamiento científico. Para este experto, este es uno de los aspectos más críticos que se debe atender dentro del material didáctico:

“[...] Se debe profundizar en la idea de observación, desde una perspectiva contemporánea de las ciencias. Hacer un esfuerzo por generar una secuencia didáctica que permita realmente generar el desarrollo de la investigación escolar y en consecuencia el pensamiento científico y derivado de ello la observación” (Gilberto_D).

Por otro lado, Gustavo señala que la observación científica puede apoyarse mediante la consolidación de espacios para el intercambio de las ideas y del diálogo colaborativo en el proceso de aprendizaje. Con respecto al trabajo en equipo, indica que no se hacen explícitos los momentos para el intercambio de las ideas entre los pares en las actividades en las que hay que poner en práctica la habilidad de la observación científica.

“La buena capacidad de observación de unos cuantos puede ayudar a los demás, por lo tanto, el intercambio de ideas entre los equipos puede ayudar a que algunos estudiantes rezagados fijen su atención en detalles que pasaron por alto. Dar espacios para la charla. Espacios en los que se intercambien elementos hallados en cada actividad de observación como ayuda indirecta de un alumno más hábil que otro” (Gustavo_D).

En este sentido, el comentario de Gustavo sugiere que la observación podría ser una habilidad que podría promoverse desde el trabajo en grupo y la acción colaborativa.

Componente estructural: Para Lina la parte gráfica es la gran debilidad del material, sugiriendo apoyo de profesionales. Por su parte, Edison señala que es importante verificar que los espacios sean amplios para que los y las estudiantes plasmen sus respuestas:

“[...] La gran debilidad del material es la parte gráfica, quizás pedir apoyo de un diseñador o experto en el área sería una buena opción” (Lina_D). “[...] Verificar que el espacio para escribir sea el adecuado y no limite la participación de los estudiantes” (Edison_D).

Componente de TIC: Del nuevo componente que emerge del análisis de las debilidades del material, Rocío destaca la posibilidad de adaptarlo a una versión que permita la difusión, teniendo en cuenta las realidades de los y las estudiantes, afectados por la pandemia por COVID-19. Así mismo, Lina destaca algunas herramientas multimedia, como las lecturas interactivas, las animaciones, las simulaciones y otros Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA), como auxiliares para apoyar la adaptación y la difusión del material para los y las estudiantes:

“[...] Debido al gran paso que han dado los procesos educativos frente a la situación del Covid-19 y no solo eso, los avances que se han dado respecto a la implementación de las TIC, puede ser un aspecto bastante positivo la adaptación de esta herramienta a un medio digital, donde se puedan realizar actividades didácticas de refuerzo, lecturas interactivas, animaciones, simulaciones, video, entre otro tipo de multimedia que enriquezca y genere la motivación por aprender en cada uno de los estudiantes y que de igual forma las respuestas se puedan entregar de manera inmediata, que pueda tal vez ser un espacio asincrónico y que

se adapte a las realidades de cada alumno” (Rocío_R). “Importante contemplar la opción de que pueda ser un OVA, la recolección de información por medio de las TIC usando formularios en línea, ayudarían a la calificación y retroalimentación” (Lina_R).

- *Acuerdos entre fortalezas y recomendaciones*

Al procesar cualitativamente las fortalezas y las debilidades del material educativo preliminar, es importante contrastar las relaciones existentes, para examinar si hay acuerdos o desacuerdos en los comentarios recibidos en el proceso de juicio de expertos. Principalmente, hallamos desacuerdos en la parte estructural, en la que los expertos y las expertas consignaron observaciones contradictorias, que se muestran mediante la tabla 36.

Tabla 36.

Relación entre fortalezas y recomendaciones en el proceso de evaluación por juicio de expertos. Elaboración propia.

Componente	Fortalezas	Recomendaciones
Disciplinar	Aporta en el abordaje de temáticas relacionadas con los microorganismos	No se profundiza sobre la concepción epistemológica que subyace en la secuencia.
Didáctico	El recurso Bio-blog es un recurso de fácil acceso para los y las estudiantes. Las actividades son innovadoras, fomenta el trabajo en equipo y se ajustan a la edad de los y las escolares.	Poca relación con el currículo y/o aspectos curriculares como los aprendizajes esperados. El tiempo puede ser un elemento que vaya en contra de la aplicación del material. Conciliar este aspecto con la cantidad de sesiones por fase de planeación. La evaluación no es un aspecto que queda claro en el material. No se evalúa la accesibilidad a un laboratorio, por lo que no se flexibiliza la actividad. Falta claridad en las orientaciones para el profesor o la profesora.
Estructural		La parte gráfica puede mejorarse.
Observación científica	La habilidad promueve el pensamiento científico dentro del material.	Es importante profundizar en la idea de la observación desde una perspectiva contemporánea de las ciencias. Generar una secuencia didáctica que permita realmente el desarrollo de la observación, más allá de la instruccionalidad. Incorporar elementos para el intercambio de ideas en las observaciones.

Componente	Fortalezas	Recomendaciones
TIC		Considerar la construcción de un Entorno Virtual de Aprendizaje para la difusión del material en su forma definitiva.

6. Tres voces particulares: procesamiento de entrevistas

Posterior al procesamiento preliminar de los datos provenientes del juicio de expertos y de expertas, seleccioné a los/las participantes para la entrevista. Mediante la tabla 37, relaciono los criterios de selección. De esta manera, dos expertos y una experta cumplen con los criterios establecidos: Gilberto (del campo de la didáctica de las ciencias), Lina (del campo de la microbiología) y Edison (del campo de profesores de secundaria).

Tabla 37.

Relación entre los criterios de elección y los/las participantes del jueceo. Elaboración propia.

Participantes	Entrega del formato de evaluación en tiempo y forma	Uno o más desacuerdos en la evaluación por ítems	Registro de observaciones divergentes que ameritaban una ampliación por parte del/de la participante
Gilberto	Si	Si (7)	Si
Gustavo	Si	No	No
Lina	Si	Si (1)	Si
Natalia	Si	No	No
Edison	Si	Si (1)	Si
Styven	Si	No	No
Rocío	Si	No	No

Las entrevistas¹ giraron en torno a dos aspectos, puntualmente. El primer aspecto abordó la importancia del abordaje de los microorganismos en la escuela secundaria; y el segundo sobre la observación científica como habilidad clave. A continuación, describo los resultados obtenidos de estos diálogos con **Gilberto** (experto del campo de la didáctica de las ciencias), **Lina** (experta del campo de la microbiología) y **Edison** (experto en el campo de profesores de secundaria). Antes de iniciar con los diálogos, mencionaré algunos aspectos relacionados con la experiencia más relevante.

Gilberto es un profesor e investigador colombiano, vinculado a una universidad pública de Bogotá. Profesor de biología de formación, con Maestría y Doctorado en Educación. Sus líneas de investigación están relacionadas con la formación de profesores de ciencias, el

¹ Para mayor información al lector/a la lectora, presento a continuación el acceso a cada una de las entrevistas transcritas mediante hipervínculos: [Entrevista Gilberto](#), [Entrevista Lina](#) y [Entrevista Edison](#).

conocimiento escolar y el planteamiento de propuestas didácticas tanto en estudiantes en formación como en profesores en ejercicio.

Lina es bióloga y microbióloga colombiana. Cuenta con una Maestría en Ciencias Biológicas, y un Doctorado en Ciencias en la especialidad de Biotecnología, cursado en México, especializándose en *Metagenómica*. Es profesora investigadora de varias universidades colombianas desde hace ocho años, dictando genética, biología celular y microbiología ambiental, con experiencia en la creación de material educativo para la enseñanza de la microbiología en escuelas secundarias de Bogotá, y en el diseño de Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA) para enseñar microbiología.

Edison es Licenciado en educación secundaria con especialidad en Biología de una Normal Superior Mexicana, Maestro en Innovación y Formación Docente, y Maestro en Educación en Biología para la Formación Ciudadana. Es profesor de secundaria de la Secretaría de Educación Pública de México en una escuela rural y profesor universitario de Hidalgo, México, cuya línea de investigación se concentra en la enseñanza de la biología desde perspectivas cognitivo-lingüísticas.

- *Primer elemento: importancia del abordaje de la microbiodiversidad en la escuela secundaria*

En cada uno de los diálogos se desarrollaron ideas distintas sobre la microbiodiversidad como concepto que podrían ser claves para el rediseño del material didáctico: (1) la diversidad como concepto metadisciplinar, (2) la relación con los problemas de enseñanza asociados a la filosofía de la microbiología, y (3) con la formación ciudadana.

1. Diversidad como concepto metadisciplinar:

Desde el campo de la didáctica de las ciencias, al interrogar a Gilberto sobre la importancia del abordaje de los microorganismos, alude a que la noción de “diversidad” se establece como un concepto *meta-disciplinar*, señalando que va más allá de la simple diferenciación o tipología de organismos. Es así como reafirma el carácter complejo de la diversidad como aquello que permite comprender la vida:

[...] *Yo creo que la diversidad es una, es súper importante porque es que la diversidad se constituye en un concepto meta-disciplinar, ósea la diversidad como concepto es fundamental (...) o sea, no es un problema de enseñar como la diferenciación entre si es un alga o qué tipo de alga es, ósea es mas allá, es la diversidad como una propiedad de lo vivo que nos permite comprender la vida (...) (Gilberto_E)*

Relaciono esta observación con la concepción de *diversidad* como parte de uno de los conocimientos metadisciplinarios propuestos por García-Díaz y García Pérez (2001) y definida como aquella que posibilita las interacciones que configuran la realidad y la diversifican, considerando tanto a la unidad como a la diversidad como parte de la organización de los seres vivos.

Posteriormente, Gilberto relaciona a la diversidad con la valoración de la diferencia más allá de los términos de la biología. Este valor tiene un carácter más **actitudinal**, que parte del reconocimiento e interrelación entre las personas:

“[...] entonces para mí la diversidad es digamos un concepto absolutamente fundamental, porque esa diversidad es lo que me permite ese reconocimiento de la diferencia, y esa diferencia no solamente en términos biológicos, sino también la diferencia en términos del pensamiento y de lo otro que pueda suceder en los niños y con los jóvenes, y es el respeto a la diferencia porque ese otro distinto a mí me permite sobrevivir a mí, digamos que es un asunto ahí interesante (...)” (Gilberto_E).

Este registro lo relaciono con lo mencionado por García-Díaz y García-Pérez (2001), que sustentan el carácter **axiológico** de la diversidad, que sugiere concebir una perspectiva compleja de la realidad escolar, mediante el respeto a la diversidad. Otro concepto que vinculo a este comentario es el de la *alteridad*, definida por Carlos Skliar (2002) como aquello que es posible identificar la perspectiva en el otro y en la otra, y alternarla con la propia. En ese sentido, se trata de ponerse en el lugar del otro/otra, siendo diferentes:

La pregunta acerca del otro no es una pregunta que pueda formularse en términos de, por ejemplo: ¿Quién es, “verdaderamente”, el otro? Tampoco es una pregunta cuya respuesta pueda conducirnos a la apacible y tranquilizadora conclusión de que “todos somos, en cierto modo, otros” o bien “todos somos, en cierto modo, diferentes (Skliar, 2002, p. 90).

2. Relación con los problemas de enseñanza asociados a la filosofía de la microbiología:

En esta idea clave se abordaron temas vinculados a los problemas de la enseñanza de la microbiología asociados a la filosofía, como la clasificación y la evolución y la causalidad. Inicialmente, tanto Edison (profesor de secundaria) como Gilberto (experto en didáctica de las ciencias) mencionan una relación entre la enseñanza de la biodiversidad y la evolución:

[...] y pues esa diversidad está articulada al tema de lo evolutivo (...) Es decir, la biología es posible comprenderla desde la diversidad (...) anclada diríamos al tema de lo evolutivo y desde la teoría (...) contemporánea a la biología en términos de la teoría sintética (Gilberto_E).

Por su parte, Edison relaciona a la “evolución” con su práctica educativa, señalando el enfoque descriptivo en el que ha tratado esta temática: la biodiversidad es el resultado de la evolución, pero no se explica cómo ha sucedido; o por lo menos, de qué manera llegaron Lamarck o Darwin a sus conclusiones teóricas.

[...] *pues la experiencia que he tenido con el tema te digo es un poco amplio trabajado con este aprendizaje de donde explica la evolución, pero desafortunadamente he creído que hasta este momento en mi práctica educativa me había enfocado más en explicar los mecanismos evolutivos propuestos por la teoría de Lamarck por la teoría de Darwin sin hacer alusión de como esto lleva una diversidad* (...) (Edison_E).

Ante estos comentarios puedo inferir que el campo de la evolución se manifiesta en dos posiciones divergentes. La posición de Gilberto está asociada a la conceptualización de la evolución en el **ámbito evolutivo**, asunto mencionado por O’Malley (2016), para entender de qué manera se aplica el concepto de “especie” más allá de las nociones morfológicas. De igual manera, este aspecto que se relaciona con lo planteado por Orozco (2017) quien estructura a la evolución dentro de uno de los ámbitos de explicación.

En este sentido, el *abordaje de la evolución* debe tener un sentido progresivo, de un trabajo descriptivo a uno más explicativo (O’Malley, 2014 y 2016). Este aspecto es extendido por Edison, de manera reflexiva en dos momentos temporales. En el primero señala que los aprendizajes sobre la biodiversidad se centraban en lo explicativo y en lo macroscópico, mientras que en el segundo momento indica el reconocimiento de los elementos biológicos, culturales y estéticos:

[...] *ahora ya no solamente esperaba que los alumnos explicaran cuál eran los mecanismos de la evolución que permitían la biodiversidad que te digo normalmente era atribuida a biodiversidad macroscópica, sino que ahora se pedía que ahora ellos también reconocieran la importancia de reconocer de la biodiversidad en tres aspectos principalmente biológico, ecológico (perdón) biológico cultural y estético* (...) (Edison_E).

Estas características están asociadas a los aprendizajes esperados establecidos en el currículo mexicano, que indica como uno de los aprendizajes esperados: “*Explica la importancia ética, estética, ecológica y cultural de la biodiversidad de México*”, dentro del eje de sistemas y diversidad del currículo actual de Ciencias Naturales para primero de secundaria de la Secretaría de Educación Pública de México (SEP, 2021). De esta manera, puedo inferir que el currículo podría ser un elemento que conecta a la evolución como parte de explicar la biodiversidad con la práctica docente.

Por otro lado, Lina menciona las dificultades existentes por comprender las situaciones específicas en las cuales los microorganismos son perjudiciales. De esta manera, las personas no comprenden en qué medida podrían llegar a enfermar a las personas.

“[...] bueno un montón de enfermedades y uno no se imaginaría que algo que esté en tu intestino tenga tanta afección o pueda producir cáncer, entonces no sólo nos beneficia sino que también puede provocar pues enfermedades, pero causan más beneficios que enfermedades y eso es algo que todos deberíamos saber y tener claro, existen digamos como patologías de personas que piensa que los microorganismos son malos y de hecho por ejemplo el desorden obsesivo compulsivo son personas que dentro de ese desorden (...) digamos están aquellas personas que quieren tener todo limpio no pueden tocar otra persona porque creen que si las tocan o les hablan le pueden dar gérmenes y bueno eso es porque esas personas no conocen que no todo es malo si bien sí hay muchos microorganismos que causan enfermedades (...)”
(Lina_E).

Lina manifiesta el problema de causalidad explicado por O'Malley (2016), que establece la necesidad de comprender cómo suceden los fenómenos en el mundo microbiano. Infiero que la causalidad lineal no tiene en cuenta las interacciones entre la microbiota y el cuerpo humano. En consecuencia, la relación social entre los seres humanos y los microorganismos se reducen al sentido perjudicial, que refuerza la idea de “combate” o de que estamos en “guerra microbiana” permanente. Además, se discute la persistencia de la asociación entre los microbios y el punto de vista de enfermedad de las personas que no tienen una formación en microbiología (Fraga, 2018).

3. Relación con la formación ciudadana:

Edison y Lina mencionan elementos relacionados con la formación ciudadana. En el caso de Edison, se resalta que el contenido de los microorganismos está relacionado con procesos sociales, a través de la *enculturización* del conocimiento. Puedo inferir que este comentario surge a partir de su experiencia profesional y formativa, enfocada a la relación entre la biología y la formación ciudadana. Por su parte, Lina menciona que el conocimiento que está relacionado con los microorganismos hace parte de los conocimientos que se deberían impartir desde la infancia:

“[...] bueno realmente también hay procesos sociales que permiten que la naturaleza se esté vinculado no solamente como un espacio de medio natural sino con su vinculación social en la actualidad como una forma de culturalización y también como una forma en la cual nosotros como ciudadanos como ciudadanía como comunidad como...(perdón) (sic) como humanidad construyamos espacio entonces

creo que es un tema sumamente amplio y que muchas veces no le tomamos el cuidado adecuado (...) (Edison_E) [...] son muchas cosas por lo cual es necesario que todos desde niños empezáramos a conocer sobre los microorganismos porque es un tema muy muy importante en nuestras vidas y muchas veces no saben distinguir nada (...) (Lina_E)

Para Edison, la formación ciudadana se concentra en la *enculturización*. Desde esta perspectiva, el aprendizaje de la ciencia hace parte de considerar el conocimiento científico como parte de la cultura; de modo que este conocimiento tenga un sentido en las estructuras cognitivas de los y las estudiantes (Aikenhead, 1996). En este sentido, el conocimiento que rodea a la microbiología es fundamental para la toma de decisiones informadas, en asuntos donde los microorganismos tienen una relación directa con nuestras vidas. A esto último se denomina alfabetización en microbiología, clave para entender la actividad microbiana desde la infancia a la adultez (Timmis *et al.*, 2019).

Por otro lado, un asunto que surgió en la entrevista con Lina está relacionada con la pandemia que en la actualidad ocurre, como una oportunidad para acercarnos al mundo de los microorganismos. También comenta que este es un problema que va más allá de la existencia del virus, sino de los problemas sociales y políticos que están asociados a su existencia:

[...] creo que en la actualidad la pandemia es una de las cosas que nos está enseñando a acercarnos a los microorganismos no sobre los virus que son microorganismos acelulares qué (lo) causa (...) [...] bueno el manejo político que se le ha dado a la salud que no es la correcta pero no es por el virus, ósea los virus van a seguir existiendo (...) entonces el punto es ese es más un problema social y político que un problema sanitario por el virus como tal (...) (Lina_E).

De esta manera, el escenario pandémico puede proveerme la posibilidad de darle significado a la enseñanza de la microbiología, dándole una relevancia social a los contenidos cercanos a los microorganismos, contribuyendo significativamente a la formación de ciudadanos y ciudadanas en el contexto de “covid” (Adúriz-Bravo, 2020).

- *Segundo elemento: la observación científica como habilidad clave*

En este segundo elemento los expertos y la experta manifiestan posiciones divergentes, que parten de la necesidad de promover el pensamiento científico en el marco de la enseñanza de la biodiversidad. De esta manera, señalo tres aspectos que sobresalieron en las conversaciones informales: la observación científica desde la carga teórica, como parte del método científico, y su asociación con habilidades cognitivo-lingüísticas e interpretativas.

1. La observación tiene carga teórica:

Esta perspectiva crítica precede a una necesidad ampliar la noción de “observación”, que vaya más allá del sentido procedimental que se manifiesta en el material preliminar; pues para el experto, la observación es una habilidad que está anclada al orden cognitivo.

“[...] creo que hay una reducción en mirar la observación como un elemento procedimental, pasa por ahí, pero creo que no es lo fundamental, porque es que yo no observo por fuera de unas construcciones cognitivas que yo hago, ósea que observo si yo no he construido digamos unas formas de ver, o sea (...) porque lo que aparentemente hay es una separación entre el sujeto y el objeto (sic) o sea, creo que hay una cosa que hay que, digamos reconciliar y es que yo observo pero a partir de mis propias estructuras cognitivas con las cuales puedo observar, o sea fíjate que no es un tema procedimental, pasa por lo procedimental pero realmente está instalado en términos de las propias construcciones que yo he venido haciendo de orden cognitivo” (Gilberto_E).

Infiero que esta apreciación está relacionada con la concepción de carga teórica de la observación (CTS, y en inglés *Theory Laden Thesis*), propuesto por Hanson (1977). Este autor afirma que solo la acción sensorial de ver, sin importar la sensibilidad o el nivel de exactitud, por sí sola no proporciona lo necesario para observar, pues “se presupone también un *conocimiento*; la observación científica es, por tanto, una actividad “cargada de teoría” (por utilizar una expresión de *Patrones de Descubrimiento* que parece estar en boga” (p. 13).

2. La observación como parte del método científico:

Lina resalta la importancia de la observación como parte del método científico, a partir de la generación de una pregunta que motive la generación de hipótesis, teorías, análisis y conclusiones:

“[...] digamos que como en el contexto de la ciencia, bueno en biología, siempre damos como todos estos pasos que dan para generar, digamos, como una hipótesis, digamos... el primer punto antes de generar una hipótesis, una teoría, unos análisis, unas conclusiones cierto, necesitamos primero hacer unas preguntas y luego observar (...)” (Lina_E).

En otro registro, Lina establece que las observaciones pueden proveer datos que parten de percepciones y otros elementos de carácter sensorial, como el gusto y la vista (Hanson, 1977; Aguirre-García y Jaramillo-Echeverry, 2013). Estas observaciones son las que originan las preguntas investigables, y que dependen en gran medida de la teoría, las variables y condiciones que se relacionan al fenómeno particular, vinculado con la microbiología como

disciplina científica. En su ejemplo, Lina menciona el carácter observacional de los microorganismos, como el uso de instrumentos como el microscopio, en un contexto particular: el agua. Además, menciona el dinamismo de la ciencia, a pesar de las construcciones previas que existen frente a una teoría en particular:

“[...] por lo general es que cuando hacemos el método científico es que si hace alguien lo mismo que yo hice siguiendo los mismos parámetros debe obtener el mismo resultado, y si alguien cambia algo puede tener resultados diferentes, digamos que eso es lo que hace las ciencias que te pueda dar distintas opciones en los resultados, por ejemplo si yo le digo a los estudiantes tomen un agua del río o tomen una agua de este lago o tomen el agua de la pileta de su casa o de no sé de la fuente de su casa y observemos eso al microscopio vamos a ver cosas diferentes (sic)” (...) (Lina_E).

Esta apreciación destaca el papel preponderante de la observación científica en el proceso de contrastación de teorías. De esta manera, los enunciados derivados de la observación componen los soportes empíricos del conocimiento que adquirimos sobre el mundo, que se derivan de un primer ejercicio de percepción y que se fortalece a través del “ver epistémicamente” (Hanson, 1977; Vazquez, 2004).

3. La observación científica asociada a habilidades cognitivo-lingüísticas:

Frente a este aspecto, Edison menciona que en el proceso de observación es una habilidad innata. Sin embargo, al referirse a la observación científica, establece que esta acción se complejiza, requiriendo el apoyo de habilidades cognitivo-lingüísticas como la descripción y la explicación (Izquierdo y Sanmartí, 2000), para sistematizar lo que se observa:

“[...] realmente la observación es algo innato en el ser humano, sin embargo, la observación científica es tanto más compleja uno puede decir bueno yo observo una computadora en frente a mí, pero si me piden ya una explicación más sistemática y cercano a lo que se debe de promover en la observación científica, pues tengo que dar más características es decir tengo que ser un poco más descriptivo y explicativo para poder dar las características más esenciales (...) (Edison_E).

Para Edison, la observación, permite acercar a los y las estudiantes al conocimiento científico, como también promueve otras habilidades asociadas al método científico en la escuela, como la interpretación y la comprensión de los fenómenos asociados a la biología:

“[...] entonces acercarle un poco los conocimientos científicos nos permite que ellos vayan desarrollando estas habilidades de la observación, no solamente el de la observación pero que vayan desarrollando habilidades que en algún momento les

van a permitir interpretar y comprender los fenómenos y procesos del mundo natural de una manera distinta en relación con experiencia al promover la observación científica en el aula de biología (...)" (Edison_E).

7. Discusión frente a la evaluación por juicio de expertos y expertas

Desde lo cuantitativo podemos considerar que hay un alto grado de acuerdo por parte de los expertos y expertas, que le otorga confianza y cierta validez al contenido preliminar del material educativo. Particularmente, el único ítem que recibe más de un desacuerdo está relacionado con los objetivos de aprendizaje. Al diferenciar las respuestas cuantitativas por campo de experiencia, permitió dar cuenta de que los desacuerdos se concentraban en uno de los expertos en didáctica de las ciencias.

De acuerdo con las fortalezas señaladas en las observaciones textuales de los expertos y las expertas, el componente de didáctica (CDID) es el que obtiene mayores comentarios. Dentro de este componente, la mayoría de los comentarios se concentraron en los recursos, resaltando la pertinencia del *Bio-blog* como un elemento para acercar generacionalmente a los y las estudiantes al rastreo de información. Otras observaciones giraron en torno a la importancia de la propuesta para abordar temáticas relacionadas con los microorganismos, que se dificulta por la aparente invisibilidad de estos seres; y de trabajar la observación científica para el desarrollo del razonamiento científico.

En cuanto a las debilidades, las observaciones giraron en torno a la concepción epistemológica de la biodiversidad, la poca vinculación con aspectos curriculares, el desequilibrio entre las fases de planeación, la evaluación y procesos de regulación de los aprendizajes, el papel del profesor, el trabajo en grupo, el intercambio de ideas en la observación y la difusión del material.

Así mismo, se relacionaron las recomendaciones con estas deficiencias. Algunas de estas son: explicitar la perspectiva epistemológica de la biodiversidad desde la filosofía de la biología, vincular las actividades con los aprendizajes esperados, incluir el contexto inmediato como escenario para el trabajo práctico, aclarar el papel del profesor del profesor y la profesora, profundizar en la idea de observación más allá de la instruccionalidad o de lo procedimental, la consolidación de espacios para el intercambio de ideas y el diálogo en el contexto de la observación científica, y rediseñar en un ambiente virtual para su difusión.

Utilizar el análisis cualitativo permitió visibilizar aquellas consideraciones particulares y divergentes, y en particular, sobre el experto en didáctica de las ciencias que presentó ocho desacuerdos con el material. Emplear el análisis de contenido para el procesamiento de los datos resultó muy enriquecedor, porque permitió clasificar las respuestas, determinando

puntualmente las fortalezas, debilidades y recomendaciones provenientes de las observaciones textuales y orales de los expertos y las expertas. Esta visibilización permitió leer y escuchar las voces de expertos y expertas en didáctica de las ciencias, microbiología y docencia en la secundaria. Este reconocimiento permitió la pluralidad de concepciones que nos ayudaron a pensar en la consolidación del rediseño del material para la enseñanza de la biodiversidad.

Así, al igual que Galicia *et al.* (2017) y Cabero y Barroso (2013), utilizar el juicio de expertos como técnica de evaluación del contenido de un material educativo tuvo ventajas y desventajas. Como ventajas, podemos establecer que esta dinámica permitió identificar de manera puntual las fortalezas y las debilidades, para la toma de decisiones frente al rediseño del material educativo, tomando procedimientos metodológicos de carácter cuantitativa y cualitativa. Además, como lo reportan Ávila-Camacho *et al.* (2019) la evaluación por once ítems agilizó el proceso de evaluación, incorporando elementos que no se habían contemplado; cuestión que se evidenció en el tratamiento de las observaciones textuales y los comentarios de la entrevista informal.

El proceso de evaluación también presentó algunas desventajas. Una de ellas estuvo relacionada con la disparidad de las observaciones textuales, elemento que se manifestó en el procesamiento de datos mediante el uso del análisis de contenido, porque las contribuciones no tenían una tendencia general. Lo anterior, implicó realizar la codificación de las unidades de análisis a partir de la cantidad de comentarios por dimensión-categoría.

La entrevista a tres de los expertos y expertas arrojó datos interesantes para el eventual rediseño. Con relación a la importancia del abordaje de la biodiversidad en la escuela secundaria, se resaltó a la ***diversidad*** como un concepto metadisciplinar, cuyo sentido axiológico apunta al reconocimiento de la diferencia, a través del reconocimiento del otro/de la otra para nuestra propia existencia.

Desde la ***filosofía de la microbiología***, se destacó la importancia de incorporar elementos vinculados a la evolución de los microorganismos, como uno de los ámbitos explicativos de la biodiversidad; asociado a su vez, al currículo escolar desde los aprendizajes esperados, producto del ejercicio reflexivo de la práctica docente. Así mismo, se destacó a la **causalidad** como parte de la comprensión de la especificidad de los microorganismos, relacionándolo con las diversas interacciones que tenemos con el mundo microbiano, más allá de la enfermedad.

Desde la ***formación ciudadana***, se destaca la enculturación como esencial para la toma de decisiones informadas; aspecto que está anclado a una alfabetización científica en microbiología. Así mismo, resalta el contexto de la pandemia como una oportunidad de

aclarar conocimientos sobre el mundo microbiano, y su afectación desde diferentes dimensiones (científicas, sociales, económicas y políticas).

Con relación a la observación científica, hay tres aspectos a resaltar: (1) la carga teórica, (2) como parte del método científico, y (3) su asociación a habilidades cognitivo-lingüísticas. Respecto al primer aspecto, se reconoce a la observación como un elemento de orden cognitivo, cuyo origen está en la percepción y se consolida a través de las construcciones teóricas existentes. En el segundo aspecto, la observación origina preguntas investigables por parte del profesor o la profesora, que dependen de la teoría, el reconocimiento de variables y condiciones de un fenómeno; apoyado en instrumentos de observación y en contextos específicos. Esta visión contribuye a la contrastación de teorías, que se fortalece en “ver epistémicamente”. Finalmente, en el tercer aspecto, se reconoce la asociación de la observación científica a habilidades cognitivo-lingüísticas como la explicación, la descripción, la interpretación y la comprensión.

CAPÍTULO 7. La toma de decisiones respecto al rediseño del material educativo

Esta reflexión parte de la necesidad de considerar la pertinencia y la factibilidad de los comentarios proporcionados por los expertos y las expertas en la etapa de la evaluación. En términos generales, considero que la base empírica, tanto del pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos, como la del juicio de expertos y expertas, generó diversos comentarios, ideas y aportes para la consolidación final del material didáctico. Este proceso contribuyó a concretar un mecanismo para la evaluación de materiales educativos desde una perspectiva dialógica y plural; es decir, considerando múltiples puntos de vista como un medio para mejorar un material educativo para la enseñanza de la microbiodiversidad.

Por otro lado, reflexionar sobre el proceso del diseño de material didáctico implica pensar como una propuesta de evaluación que se constituye en una alternativa con sustento teórico y empírico, que se contrapone a la elaboración y a la evaluación apresurada de materiales educativos. En este sentido, considero que el proceso de diseño es complejo, que necesita de oportunidades para reflexionar sobre los componentes que estructuran esta propuesta, que intentan relacionar la enseñanza de la microbiodiversidad con la promoción de la observación científica como habilidad central.

Sin embargo, a pesar de que todas las perspectivas fueron valiosas, debo decir que esta multiplicidad me permite discutir sobre la pertinencia y la factibilidad de algunos de los comentarios, que probablemente se desbordan de las intenciones que se enmarcan en los objetivos de investigación. En este sentido, este apartado de reflexión se estructura a partir de dos elementos. El primero, sobre las implicaciones para el rediseño del material educativo, y por el otro, el plan de reestructuración, a partir del análisis de cada uno de los componentes.

1. Implicaciones para el rediseño del material educativo

Los comentarios de los expertos y las expertas se aprovechan para mejorar el material de forma significativa. Más allá de establecer acuerdos o desacuerdos, las observaciones contribuyeron a visibilizar lo invisible, que de manera inicial no se habían planteado ni considerado. En la tabla 38 se relacionan los componentes del material y viabilidad para el proceso de rediseño.

Tabla 38.

Relación entre los componentes, las recomendaciones y las implicaciones para el rediseño del material didáctico.

Componente	Recomendaciones	Implicaciones para el rediseño
CDIS	Manifiestar la perspectiva epistemológica y conceptual del material didáctico	Explicitar, tanto para los estudiantes como para el profesor que tomará el material la concepción epistemológica que se constituye en la propuesta, a través de la filosofía de la microbiología de O'Malley, adaptando el estudio de los microorganismos desde la biodiversidad. Este aspecto se profundizará tanto en el marco teórico de la tesis como en el material educativo.
	Regulación de los aprendizajes: Aspectos relacionados con la evaluación, retroalimentación de los contenidos, y la autoevaluación.	Incorporar en el material elementos que permitan la regulación de los aprendizajes. Además, dar el espacio para que los/las estudiantes puedan retornar a las primeras actividades sin mayores traumatismos. Esto puede complementarse mediante el trabajo en equipo.
	Flexibilización del contexto	Flexibilizar el contexto en el que se desarrolla el material educativo, señalando alternativas para el abordaje de la microbiodiversidad.
CDID	Clarificar y fomentar las prácticas científicas.	Diseñar los recursos de los trabajos prácticos de tal manera que el acceso a los mismos se permita de manera eficiente. Fomentar la elaboración de preguntas problema a partir de situaciones clave que enfrenten los estudiantes; y que puedan materializarse a partir de evidencias de aprendizaje.
	Clarificar las orientaciones para el profesor	Incorporar elementos teóricos que le permitan comprender al profesor o a la profesora para que sientan la confianza suficiente de utilizar el material en sus clases. Es importante incluir aspectos epistemológicos, y una introducción conceptual para resaltar la relevancia de abordar la microbiodiversidad en el contexto de la observación científica.
	Explicitar el intercambio de ideas y las habilidades que podrían desarrollarse en cada actividad.	Explicitar los momentos clave en los que los y las estudiantes pueden intercambiar ideas, sobre todo en los momentos donde se debe aplicar la habilidad de observación de manera sistemática. Las habilidades asociadas a la observación (descripción, razonamiento

Componente	Recomendaciones	Implicaciones para el rediseño
		científico e interpretación), pueden contribuir a la consolidación de aquellos espacios.
CEST	Mejorar la parte gráfica	Mejorar los elementos gráficos y visuales que componen el material educativo, que se puede sincronizar con el componente de Tecnologías de la información y la Comunicación.
COBS	Incorporar una visión explícita y constructivista de la observación científica	Hacer un análisis de la observación desde la Naturaleza de las Ciencias, para entender de qué manera se puede concebir la observación desde un sentido constructivista, menos instruccional. Incorporar en el material elementos de la observación científica, que permita desarrollar otras habilidades asociadas de manera progresiva. Además, es importante que esos elementos fomenten la observación grupal desde lo colaborativo, para el intercambio de ideas y el contraste de descripciones, interpretaciones y razonamientos; consolidando lo conceptual y lo cognitivo.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones e implicaciones, menciono las modificaciones realizadas al material rediseñado, a partir de los cuatro componentes sometidos a evaluación en el juicio de expertos y de expertas. Además, expongo las ideas que estuvieron involucradas en el rediseño.

1.1. Componente disciplinar-epistemológico.

Frente al componente disciplinar, hay dos biología que están involucradas. La primera, es la *microbiología*, y la segunda es la *biodiversidad*, que permita realizar una conexión desde una perspectiva sistémica del de la biodiversidad, de acuerdo con los problemas planteados desde la filosofía de la microbiología. Esta perspectiva compleja me permite establecer una noción de “diferencia”, que vaya más allá de la diferenciación morfológica, superando la imposibilidad del estudio de los microorganismos en la escuela debido a la necesidad de artefactos tecnológicos como el microscopio.

Así las cosas, la postura epistemológica se establece a partir de tres ideas sintéticas:

1. Desde la **filosofía de la microbiología**, se consideran las relaciones no lineales entre los microorganismos y los macroorganismos, concibiendo la causalidad desde un

enfoque reticular, es decir, en red e interdependiente. Estas relaciones se establecen desde la colaboración (ayuda mutua inconsciente) y la reciprocidad (correspondencia mutua de acciones positivas y negativas). Por ende, la colaboración y la reciprocidad evidencian una relación necesaria, que se desliga de la dicotomía de beneficios y perjuicios, pues necesitamos de los microorganismos para sobrevivir y viceversa (O'Malley, 2014 y 2016).

2. Desde la **biodiversidad**, se establecen tres niveles de organización de la biodiversidad: genético (información genética), orgánico (comunidades microbianas) y ecosistémico (lugares y condiciones en las que viven los microorganismos) (García y Martínez, 2010). La **metagenómica** como una disciplina integrativa, relaciona estos niveles desde el microbioma (los genes de la comunidad microbiana), la microbiota (los integrantes de estas comunidades microbianas) y los microecosistemas (O'Malley, 2014).
3. Se manifiesta la **comprensión de la diferencia** para entender desde una postura compleja, sistémica e interdisciplinaria, la relación entre la sociedad y la naturaleza microbiana, que merece ser conservada y apreciada (García-Díaz y García-Pérez, 2001).

De esta manera, esta perspectiva ofrece una visión compleja de los microorganismos en las sociedades y en la cultura, además de desligarse de la causalidad lineal que suele privilegiar las explicaciones sobre la acción de estos seres en las clases de biología, más allá del sentido de salud-enfermedad; que suele prevalecer en los aprendizajes escolares, terminología, intereses, actitudes y conocimientos alternativos de los estudiantes de secundaria sobre los microorganismos. La relación de estos conceptos se establece mediante el esquema de la figura 15.

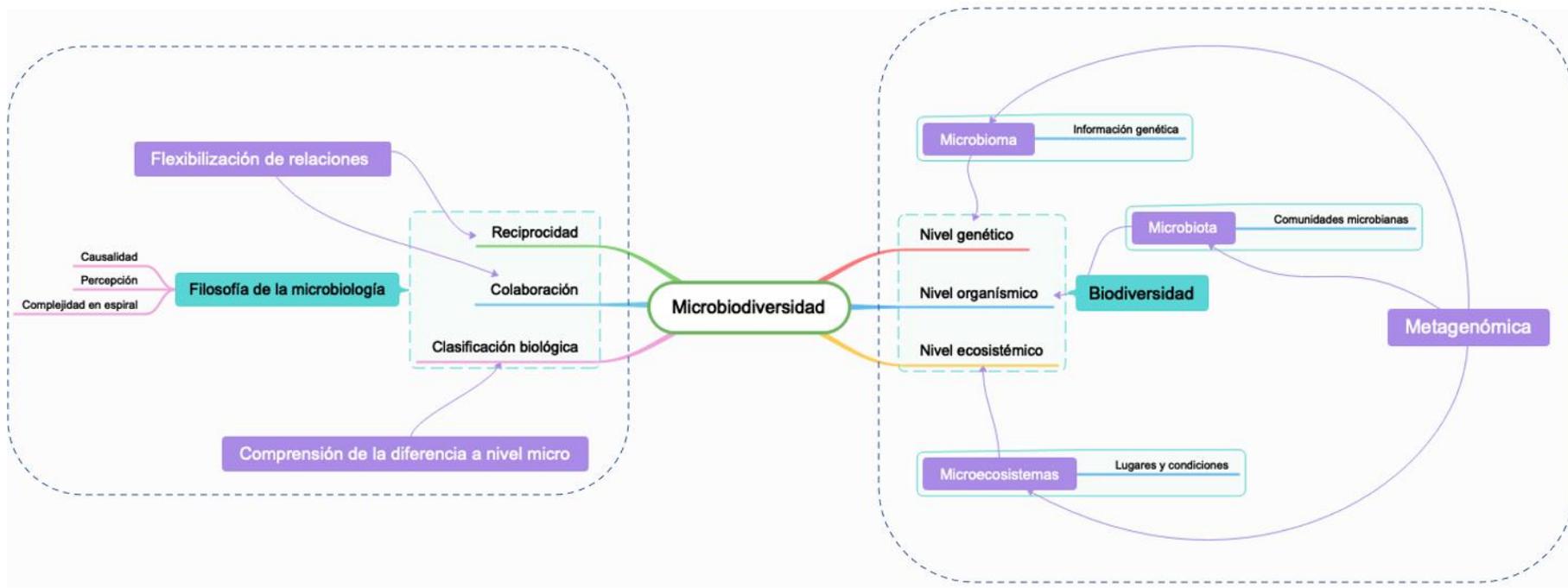


Figura 15. Estructura epistemológica de la microbiodiversidad como concepto central.

1.2. Componente didáctico-pedagógico.

Dentro del componente didáctico-pedagógico destaco dos puntos: el fortalecimiento de los trabajos prácticos, la incorporación de estudios de caso y los autoreportes como estrategias de regulación metacognitiva; así como el papel del profesor, y las estrategias de evaluación en el proceso de rediseño.

El enfoque didáctico que se establece se enmarca en los **trabajos prácticos**. Para Hodson (1994) estas estrategias buscan un papel activo de los y las estudiantes mediante la aproximación a contextos científicos a través de experiencias, experimentos ilustrativos, estrategias de investigación, habilidades comunicativas, entre otras. Para este autor, el trabajo práctico contribuye a llevar al aula de clase el aprendizaje de la ciencia, sobre la naturaleza de la ciencia y sobre la práctica de la ciencia. Para lograr lo anterior, es necesario llevar a los y las estudiantes a momentos de reflexión sobre lo que lo que implica entender cómo se construye el conocimiento científico, para trabajar sobre una imagen de ciencia en constante revisión y evolución; relevante tanto a nivel social como personal (Hodson, 1994; Hernández-Millán, Irazoque-Palazuelos, López-Villa, 2012).

Así mismo, incorporo el **autoreporte** como una estrategia de regulación metacognitiva, que consiste en la generación de un informe propio sobre el desarrollo del aprendizaje, que contribuye a la formación en pensamiento crítico, y de “aprender a aprender” (Pérez y González, 2020). En estas actividades, se espera que el/la estudiante identifique las dificultades presentadas en una sesión específica, para ser dialogadas en grupo, o bien, para que sean tomadas en cuenta por el profesor o la profesora. Este aspecto lo incorporo como parte del reconocimiento de nuevas ideas que me permitieron fortalecer el proceso de evaluación y regulación de los aprendizajes.

El autoreporte puede apoyar al profesor y a la profesora a identificar progresos y dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje en el contexto de la observación científica. A pesar de que realizar reflexiones sobre la observación no implica necesariamente reflexionar sobre el aprendizaje, el autoreporte puede brindar un balance de las ventajas y las complicaciones de observar a la biodiversidad desde el punto de vista del material educativo.

Además, en ese sentido reflexivo, enmarco las actividades centrales en **estudios de caso**. De acuerdo a Gamboa (2017), esta estrategia se caracteriza por fomentar el diálogo y la interacción diversa, mediante el reconocimiento del otro y de la otra a través de la escucha y la participación mediada por la escritura y la lectura. Este tipo de actividades se divide en tres partes:

- **Fase inicial o de identificación:** donde se reportan los elementos descriptivos del caso, mediante la reflexión teórica.
- **Fase de toma de decisiones:** en la cual se estudia información, alternativas de acción, y se generan estrategias para implementar la decisión tomada.
- **Fase de solución de problemas:** en la que se valoran críticamente las acciones planteadas.

Los estudios de caso estructurados en el rediseño del material surgieron a partir de estudios realizados en México que problematizaban la relación entre los microorganismos y los seres humanos, desde las ciencias aplicadas. El estudio de caso, en el marco de los trabajos prácticos, me permitió hacer una transposición didáctica a partir de un contexto científico como escenario concreto. Los dos estudios de caso tienen que ver con el microbioma del metro de la Ciudad de México y la relación entre la microbiota intestinal y la depresión en una comunidad indígena del Estado de Guerrero.

- *Caso 1: El caso de los pasajeros invisibles: el Metro como un microecosistema:*

Este caso está basado en el estudio realizado por Hernández, Vargas-Robles, Alcaraz y Peinbert (2020) y publicado en *Scientific Reports* de la revista *Nature*. En esta investigación, rastrearon la diversidad bacteriana de las doce líneas de la red de Metros de la Ciudad de México, obteniendo altos índices de riqueza y abundancia, medidos a través del Índice de diversidad de Shannon (escala para valorar la cantidad de microorganismos) presentes en cada una de las doce líneas. Además, se rastrearon los microorganismos en tres lugares específicos: los torniquetes, las escaleras de las estaciones y los vagones de los trenes.

Este contexto en particular ofrece elementos que se relacionan con el concepto de biodiversidad, desde la perspectiva de la metagenómica:

- Identifica el **microbioma** de la red de metros, mediante Unidades Taxonómicas Operacionales (OTU), rastreadas a través de la información genética, determinando la presencia de por lo menos 420 generos de microorganismos. Gran parte de este microbioma está asociada a la piel de personas sanas (Hernández *et al.* 2020; Dorantes, 2020).
- Los microorganismos identificados, que conforman el **microbiota**, son organismos de los géneros *Cutibacterium*, *Corynebacterium*, *Streptococcus* y *Staphylococcus*. Además, hay una diferencia entre la microbiota de los vagones y los de las estaciones: las bacterias que predominan en las estaciones son microorganismos que provienen del polvo, por lo que son de libre circulación; mientras que los que se encontraron en los vagones están asociados a la piel humana.

- El metro de la Ciudad de México se concibe como un **microecosistema**, en el que hay interacciones permanentes entre diferentes tipos de microbiotas por la afluencia de pasajeros de forma diaria. A pesar de que efectivamente, hay microorganismos que podrían ser peligrosos para la salud humana, la gran mayoría componen los microbiomas humanos de las personas. En ese sentido, la interacción entre el ambiente, el mundo microbiano y los seres humanos es constante e inevitable.
- *Caso 2: Nuestra microbiota y la depresión: una íntima relación:*

Este caso, reportado por Ramírez-Carrillo *et al.* (2020) confirma la relación entre el microbioma y el comportamiento, pues proponen que la depresión podría ser consecuencia de una compleja red de comunicación entre los macro y los microorganismos, capaces de modificar las condiciones fisiológicas. Por ende, estudiaron estas interacciones en una comunidad indígena Tlapaneca Ma'Pha, que habitan en una zona rural en el Estado de Guerrero, alejada del casco urbano. Las condiciones sociales de esta comunidad son precarias: poco acceso a agua potable y drenaje, restricciones en el acceso a salud pública y problemas de alimentación. A causa de ello, el índice de infecciones gastrointestinales por la presencia de *Ascaris lumbricoides* es alto. Teniendo en cuenta estos aspectos, considero que el contexto de esta investigación podría ofrecer un espacio enriquecedor para abordar las relaciones de reciprocidad y colaboración.

Particularmente, la flexibilización de las relaciones microorganismos-seres humanos se podrían abordar mediante los siguientes puntos:

- Existe una relación entre la red microbiana que compone la microbiota intestinal y componentes neurológicos. Se ha demostrado que los microorganismos intervienen en nuestra salud mental, operando en una red de regulación, lo que explicaría la **colaboración microbiana**. Si se altera la microbiota de forma negativa, las repercusiones se verán reflejadas en el comportamiento y en nuestras emociones; demostrando que hay una **reciprocidad**. En este sentido, se ha asociado los altos índices de depresión a la disminución de dos microorganismos: *Coprococcus* y *Dialister* de nuestra microbiota.
- En el caso de la comunidad Ma'Pha, la presencia de *Ascaris lumbricoides* provoca la disminución de las bacterias *Coprococcus* y *Dialister*. Esto a su vez, está asociado a cuestiones sociales que afectan la calidad de vida de los habitantes. De esta manera, hay una necesidad de **conservar** a la biodiversidad, comprendiendo la importancia de la microbiota para la salud mental.

En este contexto, el eje microbiota-intestino-cerebro se define como la interacción bidireccional de los microorganismos que habitan en el intestino y el sistema nervioso central (SNC). Este eje representa una compleja red que controla el sistema inmunológico, el sistema simpático y parasimpático del SNC. Los seres humanos saludables tenemos estabilidad en este eje, que al perturbarse puede conducir a enfermedades que comprometan el estado anímico de las personas, como la enfermedad de Alzheimer o la depresión (Andreo-Martínez, García-Martínez y Sánchez-Samper, 2017).

Esta interacción se presenta debido a que la colonización inicial del microbiota se presenta paralelamente al desarrollo neuronal, cuyos disturbios podrían tener consecuencias mayores si se presentan en la adolescencia (Andreo-Martínez *et al.*, 2017). La disminución de los microorganismos *Dialister* y *Coprococcus* influyen en el padecimiento de una depresión crónica. En este sentido, la enfermedad es causada por la falta de conservación de los microorganismos, que cumplen un papel colaborativo y recíproco en la relación microbiota-seres humanos.

En cuanto al **papel del profesor y de la profesora**, incorporo en el material didáctico rediseñado una guía de orientación que permitirá su implementación, explicitando la perspectiva epistémica vinculada a la biodiversidad y a la filosofía de la microbiología. Es así que la guía del profesor y de la profesora es un compendio de orientaciones didácticas cuya función es sugerir maneras de llevar a cabo cada una de las sesiones, señalando recursos y aspectos clave. La intención de esta guía no se configura en una “cartilla de instrucciones” para la eventual implementación; sino que, busca sugerir y aconsejar sobre la forma de ejecutar las actividades dentro del aula.

Así mismo, la **evaluación** propuesta se establece en dos vías. La primera vía es la autoevaluación a través del semáforo de aprendizajes, en el que el/la estudiante reconoce los aprendizajes adquiridos y reflexiona sobre las acciones que emprendería para mejorar. La segunda vía tiene que ver con evaluar la observación científica como habilidad dentro del material, lo que permite que el/la estudiante intervenga en la valoración de las actividades propuestas.

Finalmente, trasladé el [Bio-blog](#) a un espacio virtual en *Google Sites*, en el que se muestran los conceptos y construcciones teóricas que están relacionadas con *Detectives de microorganismos*. Está subdividido en seis secciones:

- **Presentación:** explicito el concepto de microbiodiversidad, propongo lecturas adicionales y se alojan los materiales en su versión para el profesor y la profesora, y para los y las estudiantes.

- **Entre lo micro y lo macro: coevolución de una relación:** desarrollo algunas ideas sobre la relación evolutiva entre los microorganismos y los seres humanos, a la luz de la biodiversidad.
- **Clasificación y diferencia:** establezco conceptos relacionados a la clasificación de los microorganismos, a través de un *podcast* y dos videos. Se subdivide en los diferentes microorganismos que están presentes en los tres dominios de la naturaleza: Eukarya (las levaduras, los protistas y los protozoos), Archaea y Bacteria.
- **El caso de los pasajeros invisibles:** elementos teóricos relacionados con el primer caso que se aborda en este material, relacionado a la microbiota del metro de la Ciudad de México.
- **Nuestra microbiota y la depresión:** elementos teóricos relacionados con el segundo caso que se aborda en este material, relacionado con la microbiota involucrada en el eje cerebro-intestino-microbiota.
- **Publicaciones asociadas:** Disponibilidad de la primera versión del material, bibliografía relacionada y publicaciones derivadas del proceso de diseño y rediseño.

1.3. Componente de observación científica

Dentro del material educativo, la observación científica se constituye como una habilidad metacognitiva, en la que están involucradas otras habilidades, como la descripción, el registro, la comparación, la clasificación y la interpretación, que se plantean en la figura 16. Estas habilidades se explicitan dentro del material, en un apartado especializado, llamado *Observemos científicamente*.

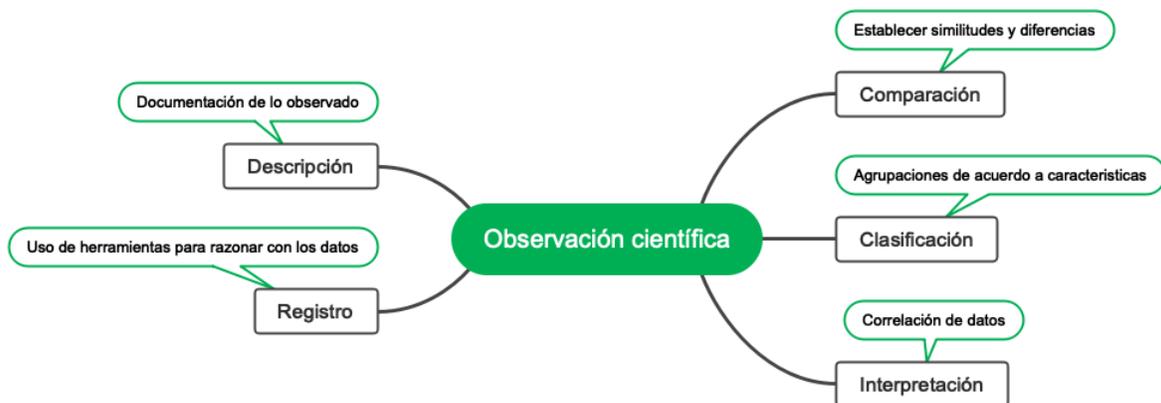


Figura 16. Habilidades que componen a la observación científica dentro del rediseño del material. Elaboración propia.

Esta nueva propuesta de habilidades que movilizan la observación científica guarda similitudes con la diferenciación de los modelos propuestos por Kohlhauf et al. (2011), Eberbarch y Crowley (2009) y Busquets *et al.* (1995). En este nuevo modelo que propongo, las habilidades cognitivo-lingüísticas que se asocian son la descripción y el registro de datos. Por otro lado, las habilidades adquisitivas-psicológicas tienen que ver con la comparación, la clasificación y la interpretación de datos.

Por otro lado, establezco la relación entre la observación científica y la metacognición a partir de la generación de actividades que buscan la identificación de progresos y dificultades en el aprendizaje por parte de los y las estudiantes, que el profesor y la profesora deberían valorar para identificar las potencialidades de implementar una propuesta que indague sobre la observación científica como eje central. Considero que la regulación metacognitiva desde el autoreporte podría aportar insumos para dialogar las dificultades existentes en la interpretación de datos observables, la clasificación de la biodiversidad o en la identificación y registro de los componentes principales desde el microbiota, el microbioma y los microecosistemas en los dos casos propuestos en el rediseño del material educativo.

Además, la incorporación de una sección de actividades por sesión, llamada “**Observemos científicamente**” invita a los usuarios y las usuarias a reconocer la observación como una acción que se manifiesta a través de otras, considerándose un proceso complejo, como lo define Rodríguez (2021).

Sin embargo, por si solo, el material educativo no generará esta regulación metacognitiva. Depende en gran medida del profesor y de la profesora dialogar estos progresos y dificultades, por lo que genero actividades propositivas para encaminar el proceso metacognitivo y explicitarlo, pues como argumenta Pérez y González (2020) es necesario poner en marcha esta regulación en el momento en el que los y las estudiantes están realizando alguna tarea. Las orientaciones, que propongo en el material para el profesor y la profesora, sugieren algunas rutas y acciones que pueden contribuir significativamente a anclar la observación científica con la metacognición.

1.4. Componente estructural-lógico

La estructura del material está conformada por ocho sesiones principales. A su vez, cada sesión se estructura por una serie de actividades que vinculan los diversos componentes modificados en el proceso de rediseño. Mediante la tabla 39, relaciono por fases de planeación didáctica, cada una de las sesiones, el contenido disciplinar derivado de la reflexión epistemológica de la biodiversidad, el componente de observación científica y el componente didáctico.

Tabla 39.

Estructura del material rediseñado

Fase	Sesión	Nombre	Contenido disciplinar	Componente de observación científica	Componente didáctico ²
Exploración de ideas iniciales	1	Nuestra experiencia con los microorganismos	Experiencias con los microorganismos	Descripción Registro	Ideas previas
	2	¿Qué sabemos sobre la diversidad en el mundo microbiano?	Conocimientos iniciales sobre la biodiversidad: cómo se diferencian, cuáles son sus componentes y de qué manera nos relacionamos con los microorganismos	Clasificación Registro	Ideas previas Observemos científicamente Autoreporte
	3	¿Polizones peligrosos?	Conocimientos previos sobre los componentes de la biodiversidad	Descripción Interpretación Registro	Ideas previas
Introducción a nuevos conceptos	4	Clasificar la biodiversidad para comprender la diferencia	Clasificación de la biodiversidad	Comparación	Comparación entre las ideas previas y los modelos científicos Observemos científicamente Autoreporte
	5	El caso de los pasajeros invisibles: el metro como un microecosistema	Componentes de la biodiversidad: microbiota, microbioma y microecosistemas Índice de Shannon	Intepretación Descripción Registro	Estudio de caso Observemos científicamente Autoreporte

² Las palabras en negrita indican los elementos de regulación metacognitiva que se destacan en el rediseño del material educativo.

Fase	Sesión	Nombre	Contenido disciplinar	Componente de observación científica	Componente didáctico ²
	6	Identificando la biodiversidad en el Metro	Componentes de la biodiversidad: microbiota, microbioma y microecosistemas	Descripción Registro	Estudio de caso Autoreporte
	En casa	Observando a la biodiversidad en otros contextos	Componentes de la biodiversidad	Descripción Registro	Trabajo práctico Observemos científicamente Autoreporte
	7	El caso de nuestra microbiota y la depresión: una íntima relación	Colaboración y reciprocidad en la biodiversidad	Interpretar	Observemos científicamente Autoreporte
Síntesis	8	¿Cómo conservar a la biodiversidad?	Componentes de la biodiversidad	Descripción	Elaboración de una carta Autoreporte
	9	Autoevaluar para aprender	Evaluación formativa de actividades	Evaluación de la observación científica dentro del material	Semáforo de aprendizajes
Aplicación	10	Aplicando la observación científica a otros contextos: microbios cosmopolitas	Biodiversidad asociada a plantas y seres humanos	Registro Descripción Clasificación	<i>Web-quest</i>

2. En síntesis

El rediseño del material educativo implicó tomar decisiones derivadas de los estudios empíricos: el pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos, y el proceso de evaluación de la versión preliminar mediante el juicio de expertos y de expertas.

Respecto al primer aspecto, el pensamiento de estudiantes me permitió establecer que son capaces de identificar un sentido de ubicuidad, por lo que varias actividades fueron reformuladas. Así mismo, los asuntos sociales vinculados al mundo microbiano se posicionan en la dualidad de beneficios y perjuicios, aspecto que se flexibiliza al complejizar la visión de la biodiversidad. Por otro lado, el proceso del rediseño contempló elementos relacionados con la causalidad del mundo microbiano, como por ejemplo: la interacción entre la microbiota intestinal y otros sistemas del cuerpo de manera integrativa. Este caso en particular contribuye a abordar relaciones causales más allá de la linealidad de la salud y la enfermedad, aspecto que se evidenció al indagar sobre los asuntos sociales a los que estarían atañendo a los microorganismos.

Por su parte, la evaluación de la versión preliminar arrojó elementos interesantes. Particularmente, los expertos y las expertas recomendaron manifestar la perspectiva epistemológica y conceptual, incorporar elementos para la regulación de los aprendizajes, la flexibilización del contexto, clarificar las prácticas científicas y las orientaciones para el profesor; y la incorporación de una visión constructivista de la observación científica.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, tomé la decisión de modificar e incorporar nuevos elementos en cada uno de los componentes del material educativo. En el componente disciplinar-epistemológico establecí los elementos teóricos que están involucrados en la biodiversidad desde la filosofía de la microbiología, la biodiversidad desde la metagenómica y la diferencia. Desde el componente didáctico-pedagógico, fortalecí los trabajos prácticos desde dos estudios de caso relacionado al estudio de la microbiota del Metro de la Ciudad de México y la relación entre la microbiota y la depresión; además de agregar el autoreporte como componente metacognitivo como una de las actividades de síntesis.

Además, incorporé una guía de implementación dirigido al profesor o a la profesora, en el que se consideran algunas orientaciones para sugerir la implementación de las actividades en el aula. En el componente de observación científica, involucro otras habilidades dentro de un apartado especializado en cada una de las sesiones, considerandola como una habilidad compleja. De esta manera, la versión rediseñada del material se divide en ocho sesiones principales.

El material rediseñado se aloja en el enlace del Bio-blog, establecido como Anexo 3.

CAPÍTULO 8. Discusiones finales, reflexiones y conclusiones

En este último capítulo subrayo de manera general las discusiones y las conclusiones de los principales hallazgos en el proceso de diseño y rediseño de material educativo para el abordaje de la biodiversidad a partir del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos. Desde la reflexión personal, estructuro la discusión final señalando los aportes de la base empírica, el proceso de transformación del pensamiento didáctico, los elementos críticos involucrados en la formación del pensamiento de diseño sobre la enseñanza de la microbiología, los alcances y limitaciones, las nuevas ideas que emergen y las conclusiones de este trabajo de tesis.

1. Los aportes de la base empírica: el pensamiento de estudiantes y el juicio de expertos

Este trabajo ha pasado por diversas transformaciones. El planteamiento inicial consistía en el diseño, implementación y análisis de una secuencia didáctica inicial que abordara elementos de la diversidad de microorganismos. Debido a la pandemia, orienté la propuesta hacia el fortalecimiento de la secuencia, para transformarla en un material educativo basado en una creación colectiva partiendo de la evaluación del contenido de la versión preliminar y el rastreo del pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos.

Los resultados derivados de ambas experiencias permitieron el rediseño del material, reconociendo aspectos débiles y reelaborándolos. Además, este proceso, nutrido de teoría y resultados empíricos da como resultado la incorporación de nuevos elementos que complejizaron mi pensamiento didáctico como profesor diseñador. Así las cosas, tanto el pensamiento de estudiantes de secundaria sobre los microorganismos y el juicio de expertos ofrecieron datos interesantes que sugieren una necesidad de complejizar la forma en la que se concibe la enseñanza de la microbiología en la escuela secundaria.

Por un lado, el pensamiento de los y las estudiantes sobre los microorganismos contribuyeron a replantear algunas de las actividades, pues como se evidenció en los resultados, los y las estudiantes de secundaria reconocen la presencia de los microorganismos en lugares que van más allá de lo insalubre. Es decir, reconocen la ubicuidad, y su presencia fuera del cuerpo. Por lo tanto, esta sería una oportunidad para indagar las ideas de los estudiantes sobre la microbiota y el microbioma que está presente en el cuerpo humano. Complejizar lo que piensan los y las estudiantes de secundaria mediante los aprendizajes escolares reportados, los intereses, las actitudes, los conocimientos alternativos y los asuntos sociales permitió visibilizar la necesidad de incorporar una microbiología integrativa en la escuela secundaria que promueva el pensamiento sistémico.

Por otro lado, la evaluación de la versión preliminar del material educativo a través del juicio de expertos permitió identificar aspectos débiles para fortalecer en cuatro componentes: disciplinar-epistemológico, didáctico-pedagógico, observación científica y estructural-lógico. Desde el componente disciplinar-epistemológico, esta evaluación sugirió la necesidad de manifestar la perspectiva epistemológica de la microbiodiversidad, lo que permitió a su vez fortalecerla, plasmando esas construcciones en el proceso de rediseño. Además, la observación científica se fortaleció desde una perspectiva compleja, al anclarla con otras habilidades cognitivo-lingüísticas como la descripción y el registro de datos; y psicológicas-adquisitivas como la comparación, la clasificación y la interpretación de los datos. Desde el componente didáctico, se fortalece la perspectiva de los trabajos prácticos como estrategia didáctica, apoyado mediante el estudio de caso que surgen de contextos científicos que involucran a los microorganismos desde la metagenómica como una disciplina integrativa.

Finalmente, en el proceso de rediseño fortalecí la postura epistemológica de la microbiodiversidad a partir de la filosofía de la microbiología (la colaboración y la reciprocidad), la biodiversidad desde el punto de vista de la metagenómica (microbioma, microbiota y los microecosistemas) y la comprensión de la diferencia. Además, desde el componente didáctico-pedagógico se fortalecieron los trabajos prácticos como estrategia didáctica, apoyada de los estudios de caso y el autoreporte como estrategia de regulación metacognitiva. De esta manera, consolido dos casos derivados del conocimiento científico: la microbiota del metro de la Ciudad de México y la relación entre la microbiota y la depresión.

El contexto científico que se establece en un estudio de caso en el marco de los trabajos prácticos puede contribuir a paliar la necesidad de visibilizar un fenómeno complejo como la microbiodiversidad, a través de la metagenómica. El análisis de las comunidades a través del ARNr 16S es una herramienta favorable para identificar la gran variedad de microorganismos existentes. En este sentido, realizo una primera aproximación a un proceso de transposición didáctica, que permita abordar la microbiodiversidad en la escuela secundaria.

2. Transformación y complejización del pensamiento didáctico: el proceso de diseño y rediseño.

El proceso de diseño y rediseño me permitió visibilizar la complejidad que existe frente a la planeación de secuencias didácticas. En el contexto del diseño de material educativo para la enseñanza de la microbiodiversidad y la promoción de la observación científica, este proceso de perfeccionamiento del pensamiento didáctico se estableció a partir de tres etapas clave de forma interdependiente: el pensamiento inicial, el enriquecimiento de ideas y la

complejización. En esta progresión considero elementos críticos que se involucraron en la formación del pensamiento sobre la enseñanza de la microbiología.

El **pensamiento inicial de la planeación didáctica** se caracterizó por definir inicialmente los componentes que estarían involucrados dentro del material. La concepción inicial de microbiodiversidad en la primera versión estuvo asociada a tres disciplinas: morfomicrobiología (morfología microbiana), ecología y biotecnología (Capelo *et al.* 2000). Sin embargo, no era clara la construcción conceptual del componente de observación científica dentro de la versión preliminar, considerándola como una habilidad procedimental en la enseñanza de la biología.

Por su parte, el **enriquecimiento de las ideas** mediante estudios empíricos requirió el diseño de dos instrumentos: el cuestionario en línea sobre el pensamiento de estudiantes de secundaria respecto a los microorganismos, y el formato de evaluación del material educativo. Este ejercicio implicó escuchar una diversidad de voces con diferentes perspectivas que intentaban ofrecer una visión integrativa del mundo microbiano desde su formación académica y experiencia profesional.

Este aspecto se evidenció en la entrevista informal, donde Gilberto, Edison y Lina expresaron la importancia de abordar la microbiodiversidad en la escuela secundaria. Del procesamiento de este diálogo emergieron tres posturas clave en la consolidación de la microbiodiversidad como concepto: (1) el reconocimiento de la diferencia, (2) el sentido progresivo, explicativo y multidimensional y (3) la importancia de la alfabetización científica en microbiología. Así mismo, la observación se estableció como un proceso cargado teóricamente, que está asociado a otras habilidades cognitivas y lingüísticas, y que hace parte del método científico.

Por ende, el proceso de evaluación fue un aspecto clave en el enriquecimiento de las ideas de la planeación didáctica, pues fue una oportunidad para incorporar la visión de profesores y profesoras de diferentes áreas del conocimiento (disciplinares, pedagógicas y experienciales) y complementarlo con el diálogo de las personas que presenten mayores desacuerdos. Esta apuesta entre la evaluación y el diálogo podría concebir la estrategia de juicio de expertos de manera más inclusiva, que permita dar voz a aquellos y aquellas personas que son partícipes directos de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la biología en las escuelas. El sentido de “juez” o “jueza”, o “experto” o “experta” podría transformarse al de “consejero” o “consejera”, que se ajustaría al sentido de **creación colectiva** del diseño didáctico.

Finalmente, el proceso de **complejización del pensamiento didáctico** requirió la toma de decisiones para el rediseño del material educativo, mayor reflexión sobre el conocimiento epistemológico-didáctico y las reflexiones sobre la planeación didáctica. En este proceso debo destacar la lucha constante con el eje epistémico, porque era necesario definir la

microbiodiversidad a partir de dos disciplinas clave: la microbiología y la biodiversidad en el contexto de la metagenómica.

Otra dificultad importante estuvo relacionada a proponer elementos que permitieran estimular la evaluación de la **observación científica como habilidad central**. Sin embargo, al anclar esta habilidad con otras, de orden cognitivo-lingüístico y adquisitivo-psicológico, mediante un apartado denominado “Observemos científicamente” logro explicitar las actividades que involucran esta habilidad de forma transversal a lo largo del material. Para Pérez *et al.* (2019) esta visibilización contribuye a realizar un proceso de diagnóstico y seguimiento, que favorece una evaluación más formativa, comprendiendo que el conocimiento científico (específicamente de la microbiología) se ha fortalecido mediante el **diálogo** de lo observado entre científicos y científicas, motivando el reconocimiento del papel de los y las estudiantes como constructores de su propio conocimiento.

Por ende, en la búsqueda de que los y las estudiantes se reconozcan como constructores del conocimiento propio, propuse elementos metacognitivos de regulación como el autoreporte, resaltando la necesidad de visibilizar lo que se ha aprendido, a partir de los progresos y las dificultades que puedan presentarse en la ejecución de una actividad. En este sentido, el profesor y la profesora tendría elementos para considerar a la observación científica desde lo progresivo y lo reflexivo, pues se podrían detectar aspectos complejos del objeto observado. Marín y Ramírez (2020) argumentan que el proceso de reflexión en el contexto de la observación se debe considerar una relación entre los marcos teóricos existentes y los nuevos; en otras palabras, lo que se busca es una reconstrucción entre la carga teórica previa y la nueva que ayude al profesor y a la profesora a documentar las progresiones en el aprendizaje de esta habilidad.

Al reconocer estas progresiones (fortalezas y dificultades) que implica aprender a observar científicamente en el contexto de la microbiodiversidad, también se reconocen las dificultades de aprendizaje, pues hay una reflexión en dos sentidos: el primero, sobre la complejidad del objeto observado, que dialoga a su vez con otras habilidades que se relacionan entre sí; y el segundo: sobre los aprendizajes alcanzados hasta el momento, lo que darían pistas sobre la relación entre la metacognición y la observación científica. Reconozco que esta apuesta es ambiciosa, dependiente de las decisiones que toma el profesor y la profesora que implementa, pero considero que es un primer paso para generar una base de orientación formativa que complejice las dinámicas de observación para reconocer aprendizajes, mediante actividades que expliciten la observación científica en el contexto de la microbiodiversidad.

Finalmente, en el proceso de diseño y rediseño del material educativo había dos tipos de pensamientos que convergían en mi proceso formativo en la Maestría en Educación en Biología para la Formación Ciudadana. El primero está relacionado con pensar en el diseño

desde ámbito investigativo; y el segundo como profesor que implementa e investiga en el aula.

Desde el profesor diseñador, ya he descrito que esta experiencia contribuyó a complejizar mi perspectiva epistemológica y didáctica de la biodiversidad y la observación científica. Sin embargo, este posicionamiento me encaminó a tomar una postura reflexiva de la experiencia investigativa del diseño didáctico. La idea de la reflexión es liberadora porque la elaboración de esta tesis implicó la narración de un enriquecimiento personal para transformar mi propia práctica docente, proponiendo nuevas formas de abordar la microbiología en el aula de clases.

3. Elementos críticos involucrados en la formación del pensamiento de diseño sobre la enseñanza de la microbiología

Esta experiencia centrada en el diseño me ha permitido establecer varios elementos que son críticos en la formación del pensamiento sobre la enseñanza de la microbiología, y que permiten pensar el diseño como un proceso que reta la creatividad, problematiza la observación científica desde una biología integrativa que se aparta de la visión antropocéntrica basada en el beneficio o el perjuicio, o en las relaciones establecidas desde la salud y la enfermedad.

En primera instancia, es importante destacar que el proceso de diseño de material didáctico para abordar la biodiversidad es un asunto que retó mi **creatividad**, que requería integrar diferentes perspectivas a partir de un diseño preliminar, reflexionar sobre las experiencias de otros y otras desde los estudios empíricos y las entrevistas, y superar los obstáculos epistemológicos propios. Por otro lado, la **observación** en el contexto microbiano ha tenido diversas implicaciones: desde la alfabetización científica en microbiología (De Fraga, 2019; Timmis *et al.*, 2020) y la historia de la disciplina a partir del descubrimiento del mundo microbiano gracias al microscopio (Valério y Torresan, 2017). De esta manera, la observación tiene implicaciones tanto en el componente disciplinar, como en el componente didáctico, lo que justifica en gran medida la creación del componente de Observación Científica en el proceso de evaluación del contenido de la versión preliminar.

Otro aspecto importante tuvo relación con la incorporación de elementos teóricos provenientes de la **biología integrativa**. Lo anterior, supone un reto para establecer este concepto en la escuela secundaria desde la complejidad y la causalidad sistémica, comprendiendo las relaciones de interdependencia con el mundo microbiano al cual podemos también perjudicar con nuestro accionar. Esta reflexión epistemológica (que se traslada al diseño de secuencias didácticas o material educativo) busca ir más allá del sentido dicotómico de salud y enfermedad, o de beneficio y perjuicio, que podría fortalecer el modelo

antropocéntrico y la visión pesimista de aquello que no se puede visibilizar a simple vista, pero cuya riqueza es necesaria para nuestra propia existencia. De esta manera, considerar una biología integrativa para abordar la biodiversidad en la secundaria podría superar las dicotomías que no permiten comprender, como lo establece O'Malley (2014), las relaciones causales en el mundo microbiano y la comprensión de la diferencia.

Igualmente, resalto que los aportes de la **filosofía de la microbiología** tienen un potencial abordaje en las aulas, y es posible incorporarlos a materiales educativos innovadores. La causalidad en términos de complejidad podría ser un aspecto que explore una microbiología integrativa que supere la visión pesimista, dualista y antropocéntrica del mundo microbiano. Además, la consolidación de modelos científicos escolares que empleen explicaciones derivadas de los mecanismos de adaptación, evolución y diferenciación que puedan servir para explicar procesos que normalmente se explican desde lo macroscópico. De esta manera, los problemas derivados de la filosofía de la microbiología (evolución, causalidad microbiana y modelos explicativos de lo microscópico a lo macroscópico) pueden establecerse como puntos de partida interesantes para la elaboración de propuestas didácticas.

Por su parte, la **historia de la microbiología** tiene tres acontecimientos clave: (1) las primeras observaciones de lo microscópico por Leeuwenhoek, (2) la definición de la teoría microbiana por Robert Koch; y la identificación del microbioma humano a partir de la metagenómica. La visión histórica actual del abordaje de la microbiología sugiere un cambio de perspectiva hacia la consideración de las relaciones interdependientes entre lo microbiano y lo humano. Este enfoque histórico hacia lo “existencialista” podría crear conciencia sobre las implicaciones que tiene modificar los ecosistemas a grande escala, así como a evaluar las decisiones políticas y económicas que atentan sobre el equilibrio de la biodiversidad.

No obstante, todavía faltan esfuerzos para considerar la biodiversidad como un **concepto metadisciplinar**, para entender la significancia biológica de la biodiversidad. Esta propuesta todavía puede extenderse a una nueva evaluación del contenido, y eventualmente a un proceso de implementación en aula de clase. Por tanto, este material no tiene una forma definitiva todavía, lo que me permite comprender que el proceso de diseño no es perfecto ni agotable; y que, por el contrario, es un conocimiento que es preciso fortalecer mediante la experiencia, el diálogo constante con el otro y con la otra, y la detección de ideas iniciales que podrían tener un potencial efecto sobre la demanda de aprendizaje y el diseño de las actividades en una propuesta didáctica. Por ende, este trabajo es un pequeño esfuerzo por contribuir al pensamiento sistémico en el ámbito de la enseñanza de la microbiología, como un razonamiento que invita a ver lo natural como un sistema, con relación con las partes y el todo.

4. Alcances y limitaciones

Una de las limitaciones más importantes fue la imposibilidad de realizar un pilotaje en aula, situación que fue impuesta por las circunstancias actuales. No obstante, considero que este material tiene el potencial para una implementación. Por otro lado, presento una alternativa a la implementación de aula, fortalecida mediante la validación de contenido, aspecto que podría subsanar la implementación. Aunque no reemplaza la experiencia de la implementación, al escuchar a otros y otras hay un panorama más amplio que puede ser contrastado de forma reflexiva para el rediseño de material educativo.

Sin embargo, como un alcance, desde el punto de vista de las Investigaciones Basadas en Diseño (IBD) (Guisasola *et al.*, 2020), este ejercicio contribuyó a obtener un material diseñado con decisiones justificadas desde lo disciplinar y lo didáctico, con menores probabilidades de incorporar cambios. La primera fase de la IBD, llamada “fase de diseño”, considera tres herramientas esenciales: **el análisis epistemológico del tema y del contexto educativo** (el concepto de biodiversidad), el análisis de las **ideas previas** de los y las estudiantes y las dificultades conceptuales y de razonamiento (exploración del pensamiento de estudiantes de secundaria a partir de los aprendizajes escolares reportados, intereses, actitudes, conocimientos alternativos y asuntos sociales); y el establecimiento de entornos de aprendizaje o **estrategias de enseñanza** que apunten a **habilidades o actitudes de enseñanza** (la observación científica como habilidad central en el marco de trabajos prácticos relacionados con la enseñanza de la microbiología).

5. Nuevas ideas que emergen

Esta experiencia me ha encaminado a pensar diversas ideas que pueden contribuir a la formación de profesores de biología en el contexto de la enseñanza de la microbiología. En particular, el hecho de diseñar material educativo podría concebirse como un mecanismo de desarrollo profesional de profesores y profesoras en servicio en México. Específicamente, en el **contexto mexicano**, no hay un énfasis claro en la experiencia de diseño didáctico, a causa de una cultura educativa que se centra en los libros de texto gratuitos (LTG) diseñados y proporcionados por la Secretaría de Educación Pública (SEP). Por ende, hay una tendencia a que los profesores y las profesoras, mexicanos y mexicanas, sean usuarios y usuarias poco críticas sobre los contenidos ya elaborados por los LTG. Así las cosas, al tener una experiencia en creación didáctica, hay un lente que permite hacer un ejercicio de reflexividad sobre la perspectiva epistemológica del libro de texto, o del Conocimiento Didáctico del Contenido, concepto reportado ampliamente en la literatura.

Además, como anteriormente mencioné, la creación colectiva de material didáctico podría concebirse como un proceso en el que se tome en cuenta la voz de diferentes actores que

participan en el acto educativo en el ámbito de la educación en biología, desde los investigadores e investigadoras que teorizan a partir de la evidencia los aspectos relacionados con enseñanza y el aprendizaje, los maestros y las maestras que siguen su formación profesional sin desligarse del contacto con el aula; y los expertos y las expertas en la disciplina, como microbiología, biotecnología y metagenómica. La evaluación de material educativo en esta línea podría convertirse en una “consejería”, en el que se establezcan fortalezas, dificultades y recomendaciones a quien tenga la intención de aplicar una secuencia didáctica o material educativo. Además, sugiero que la integración de diferentes visiones, contribuye positivamente a mejorar y consolidar la perspectiva personal epistemológica y didáctica de una propuesta didáctica.

Otra idea que ha surgido desde esta experiencia es la vinculación de pedagogías emergentes a la concepción epistemológica de biodiversidad, más orientadas a determinar la relación de la microbiología con aspectos sociales, interculturales, filosóficas y sistémicas. De esta manera, habrían vertientes interesantes que contribuirían a discutir en el aula las implicaciones de la existencia del mundo microbiano, y de qué manera este conocimiento ha servido para justificar decisiones políticas y económicas. Por otro lado, la vinculación del arte en la enseñanza de la biodiversidad podría ofrecer un escenario propicio para la interdisciplinariedad, mediante propuestas artísticas que contribuyan a la exploración de otras formas de representación del mundo microbiano desde lo holístico y lo subjetivo.

6. Conclusiones

Al llegar aquí, puedo decir que esta experiencia ha sido enriquecedora, pues se ha derivado un proceso reflexivo importante frente a la planeación didáctica, la educación en microbiología y al pensamiento de diseño en el contexto de la biodiversidad. Los estudios empíricos sobre el pensamiento de estudiantes sobre los microorganismos y la evaluación por juicio de expertos contribuyeron a establecer la importancia de complejizar el mundo microbiano desde una perspectiva sistémica, a partir de la filosofía de la microbiología, la metagenómica y la biodiversidad.

En primera instancia, la exploración del pensamiento de escolares sobre los microorganismos aporta una base sólida para generar nuevas propuestas de enseñanza para disminuir las dificultades de aprendizaje. Los resultados procesados del cuestionario en línea sugieren que tanto los aprendizajes como los intereses se concentran en aspectos disciplinares, como el tamaño, la necesidad de verlos al microscopio, la variedad y la clasificación. Respecto al componente actitudinal, prevalece la importancia de estos seres para la sociedad. Por otro lado, las concepciones alternativas muestran que, a pesar de que identifican la presencia de los microorganismos en lugares más allá de la insalubridad, persisten las ideas de origen espontáneo y no se comprende de qué manera funcionan los antibióticos, así como la

ubicuidad en lugares extremos. Finalmente, el papel de los microorganismos se reduce a la relación salud-enfermedad.

Sin embargo, debo reconocer que hay otras formas de explorar las ideas iniciales, que involucrara otros tipos de representación, y, por ende, otras formas de explorar el pensamiento. A manera de sugerencia, se podrían involucrar imágenes relacionadas con características específicas de los microorganismos, un estudio de caso que ofrezca un contexto propicio para explorar el pensamiento (por ejemplo, un recorte de una noticia que desarrolle ideas antropocéntricas de la relación microbiota-seres humanos), o la redacción de estrategias narrativas como el cuento o la anécdota que relacionen las experiencias directas de los y las estudiantes con los microorganismos. Algunas de las siguientes preguntas pueden orientar la exploración de las ideas iniciales en el contexto de la biodiversidad:

- A partir de expresiones narrativas, ¿qué tipo de experiencias asocian los y las estudiantes con los microorganismos?
- ¿Cuáles son las descripciones (proveniente de los medios y de la cultura) que emplean los y las estudiantes en sus ideas iniciales para representar la acción de los microorganismos en la escuela?
- ¿Qué emociones tienen los y las estudiantes cuando se les presenta información negativa de los microorganismos, derivada de la visión antropocéntrica?
- ¿Cuál es el impacto de las noticias falsas en las representaciones visuales o pensamientos de los y las estudiantes sobre los microorganismos?
- ¿Qué tipo de explicaciones o argumentos dan los y las estudiantes al interrogarles sobre la evolución de los microorganismos?
- ¿Qué relación tiene el pensamiento de los y las estudiantes sobre los microorganismos con las ideas que vinculan a estos seres con la pobreza o la desigualdad social?

Por su parte, la estrategia de evaluación de la versión preliminar permitió visibilizar la voz de siete profesionales provenientes de México y Colombia, en tres campos de experiencia: didáctica de las ciencias, en la microbiología como disciplina científica y enseñando biología en la escuela secundaria. Al procesar los resultados derivados de la aplicación de un formato de evaluación por ítems sugirió un alto acuerdo de los expertos con respecto al material educativo en su versión preliminar. Sin embargo, el análisis cualitativo arrojó elementos más concretos que debían mejorarse. Frente a las fortalezas, la mayoría de los comentarios se centraron en los recursos incorporados y en la observación científica como habilidad central. Las debilidades y recomendaciones giran en torno a la perspectiva epistemológica de la biodiversidad, aspectos curriculares, la regulación de aprendizaje, el papel del profesor, el intercambio de ideas en los procesos asociados a la observación y emerge la necesidad de adaptar el material a un formato digital.

El hecho de complementar las respuestas de dos profesores y una profesora a través de la entrevista fue valioso para mí, pues me permitió fortalecer la perspectiva epistemológica de la biodiversidad. Gilberto, Lina y Edison manifestaron diversos aspectos que son importantes para considerar la enseñanza de la biodiversidad desde una microbiología integrativa: el reconocimiento de la diferencia, la alteridad, la multidimensionalidad, la evolución biológica y la alfabetización científica en microbiología.

Esta integración requiere (re)pensar la enseñanza de la microbiología más allá de la dicotomía de salud y enfermedad, contestando preguntas relacionadas con *como, por qué, y para que* enseñar la biodiversidad en el aula de clases. Aprovechando el contexto pandémico que aún ocurren actualmente, y a pesar de que este trabajo no tiene todas las respuestas (ni pretende darlas), puede dar algunas pistas, como un primer paso para pensar y discutir sobre nuevas formas de abordar el mundo microbiano en las aulas, manejando el mismo esquema de Adúriz-Bravo (2020).

¿Cómo enseñar la biodiversidad? Más allá de ahondar las acciones que realizan los microbiólogos y microbiólogas y trasladarlas al aula desde lo procedimental; sería interesante que exista una vinculación con el *contexto científico* que ofrecen muchos estudios empíricos que provienen de la metagenómica. Así mismo, podrían incorporarse actividades que exploren las experiencias personales sobre el mundo microbiano, que podrían derivarse de la visión dicotómica de la salud y la enfermedad. Si los y las estudiantes tienen experiencias positivas en las que interactúan con la biodiversidad, se comprendería de mejor manera la existencia necesaria de estos seres para el mantenimiento de lo vivo y de la vida. En este sentido, considero que debe existir un equilibrio entre lo procedimental, lo conceptual y lo actitudinal; pues de acuerdo con la revisión de literatura, el componente procedimental suele opacar al conceptual y al actitudinal.

¿Por qué enseñar la biodiversidad? Esta es una pregunta que he tratado de responder en este trabajo de tesis. La alfabetización científica en microbiología es necesaria para entender los procesos causales de la vida microbiana, pensar en la existencia de los microorganismos en la medida en que nosotros y nosotras, los seres humanos, también existimos. Igualmente, las decisiones que se toman a diario tienen que ver, en parte, con el mundo microbiano. Inclusive, en esta época, muchas de las decisiones políticas y gubernamentales, noticias, notas divulgativas, publicaciones en redes sociales tienen relación con la biodiversidad, que se consolida desde la alfabetización científica en microbiología: la necesidad de formar científicamente en microbiología a los ciudadanos y ciudadanas para la toma de decisiones informadas. Enseñar microbiología, en ese sentido, implica tener una visión integrativa de la diversidad de microorganismos, que involucra los aspectos sociales, culturales y políticos que podrían vincularse en las clases de biología.

Sin embargo, varias enfermedades son causados por microorganismos bacterianos. En este sentido, la perspectiva desde la salud es importante porque reconoce la necesidad de incorporar acciones de autocuidado en la vida cotidiana. Por ende, este enfoque epistemológico no busca demeritar estas acciones en la escuela. Al contrario, invita a proteger el microbioma propio sugiriendo relaciones más complejas, como las del eje cerebro-intestino-microbiota. Si nuestra microbiota intestinal se ve afectada negativamente, nuestro cerebro también se afectará, provocando enfermedades comportamentales como la depresión, una enfermedad en crecimiento en la actualidad.

¿Para qué enseñar la biodiversidad? Comprender que el mundo microbiano hace parte de nuestras vidas hace parte de una ciudadanía informada, que apropia el conocimiento derivado de la microbiología como parte de su cultura. Sin embargo, también es propicio aprovechar el contexto microbiano para comprender que la diferencia hace parte de la vida. Ese reconocimiento de la diferencia podría ayudar a conservar a nuestra propia microbiota, y, por ende, nuestra propia existencia.

La biodiversidad es un paso para comprender que los seres humanos no somos la cima de la evolución, que dependemos de aquello que no se puede visualizar a simple vista y que es hora de reconocer que tenemos información genética de un conjunto de microorganismos que habitan e interactúan permanentemente en nuestros cuerpos. En ese orden de ideas, somos cuerpos habitados por microorganismos. Somos holobiontes con microorganismos que poseen mecanismos de regulación que captan información, almacenan experiencia y conocimiento para generar un proceso de aprendizaje. Además, la colaboración y la reciprocidad se desligan de la idea de “competencia”, pues como lo estableció Lynn Margulis las interacciones se basan en la cooperación. En ese sentido, valdría la pena pensar más como microorganismo, y no como ser humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A. (2020). *Enseñanza de las ciencias en tiempos de pandemia. Repensando contenidos, métodos...y finalidades*. Obtenido de: <https://www.fumtep.edu.uy/noticias/noticias-y-novedades/item/1486-aportes-de-quehacer-educativo-en-tiempos-de-pandemia-ensenanza-de-las-ciencias-naturales-en-tiempos-de-pandemia-repensando-contenidos-metodos-y-finalidades>
- Aguirre-García, J., & Jaramillo-Echeverry, L. (2013). Tesis de la carga teórica de la observación y constructivismo. *Cinta moebio*, 47, 74-82.
- Aikenhead, G. (1996). Science Education: Border crossing into the Subculture of Science. *Studies in Science Education*, 27(1), 1-52.
- Akl, F. (2017). *"Los microorganismos" a través de la enseñanza basada en la indagación*. Tesis de Maestría, Universidad de Almería.
- Andreo-Martínez, P.; García-Martínez, N. y Sánchez-Samper, E. (2017). La microbiota intestinal y su relación con las enfermedades mentales a través del eje microbiota-intestino-cerebro. *Revista Discapacidad Clínica Neurociencias*, 4(2), 52-58.
- Ávila-Camacho, M., Juárez-Hernández, L., Arreola-González, A., & Palmares-Villareal, O. (2019). Construcción y validación de un instrumento de valoración del desempeño docente en la ejecución de una secuencia didáctica. *Revista de Investigación en Educación*, 122-142.
- Ballesteros, M., Paños, E., y Ruiz-Gallardo, J. (2018). Los microorganismos en la educación primaria. Ideas de los alumnos de 8 a 11 años e influencia en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 79-98.
- Bardin, L. (2011). *Análisis de contenido*. Madrid: Ediciones Akal.
- Barrantes, M., y Blanco, L. (2004). Recuerdos, expectativas y concepciones de los estudiantes para maestro sobre la geometría escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 241-250.
- Barraza, L. (2005). Educar para conservar: un ejemplo en la investigación socioambiental. En A. Barahona, y L. Almeida, *Educación para la conservación* (págs. 237-254). México: Coordinación de Servicios Editoriales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Bautista, N. (2011). *Proceso de la Investigación cualitativa*. Bogotá: Manual Moderno.
- Black, J., y Black, L. (2015). *Microbiology. Principles and explorations*. United States: Wiley.
- Brook, I. (2017). *Infectious Diseases. Anaerobic Bacteria*. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6285-8.00184-2>.
- Brown, J. W. (2014). *Principles of microbial diversity*. John Wiley & Sons.
- Busquets, P., Juandó, J., Geli, A., y Trebal, M. (1995). Aprender a observar. *Alambique*, 5.
- Byrne, J. (2011). Models of Micro-Organisms: children's knowledge and understanding of micro-organism from 7 to 14 years old. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1927-1961.
- Caamaño, A. (2002) ¿Cómo transformar los trabajos prácticos tradicionales en trabajos prácticos investigativos? *Aula de innovación educativa*, 113-114.
- Caamaño, A. (2005). Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes. *Educación química*, 16(1), 10-19.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70 (1), 83-91.
- Cabero, J., y Barroso, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: El coeficiente de competencia experta. *Bordín*, 65(2), 25-38.
- Camargo, F., Da Silva, A., y Dos Santos, A. (2018). A microbiologia no caderno do aluno e em livros didáticos: análise documental. *Revista Iberoamericana de Educación*, 41-58.
- Campanario, J., y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- Capello, R., Donovarros, C., y Giono, S. (2000). La diversidad microbiana en México. CONABIO. *Biodiversitas* (32), 6-10.

- Cavendish, M. (2001). Observations upon Experimental Philosophy. En E. O'Neill, *Margaret Cavendish: Observations upon Experimental Philosophy* (págs. 46-194). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, J. (2020). Applications of microscopy in science education: gifted youth, public school and next-generation science standards (NGSS). *Journal of Biological Education*, 1-10.
- DataBio (13 de julio de 2021). *Corynebacterium spp.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/353165/Corynebacterium+spp+-+Año+2020.pdf/2ddac18d-5ad6-4f17-8ba2-5e6c52273d90>
- DataBio (13 de julio de 2021). *Penicillium sp.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/353749/Penicillum+spp+2017.pdf/57121544-9157-4bbe-a6eb-b394c83bf9e1>
- De Pro Bueno, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 21-41.
- Díaz, J. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (1996) ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 183-194.
- Díez, J., Iradi, M., y Arroita, M. (2016). Detección de las ideas del alumnado de secundaria sobre la microbiología e implementación de una práctica de laboratorio. *Memorias del 27 Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (págs. 31-39). Badajoz: Universidad de Extremadura.
- Dorantes, L. (2020). Conoce a los pasajeros invisibles del metro. *Avance y perspectiva*, 6(2).
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Reino Unido: McGraw-Hill.
- Dueñas, Y., Baquero, G., García-Martínez, A., Bravo-Osorio, F., Merino, C., y Calderón, D. (2018). *Modelo de Creaciones Didácticas en Cooperación*. Proyecto ACACIA.
- Durango, M. (2012). *La microbiología en la escuela. Una experiencia didáctica, aplicada a séptimo grado de educación básica*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.

- Eberbach, C., y Crowley, K. (2009). From everyday to Scientific Observation: How Children learn to Observe the Biologist World. *Review of Educational Research*, 79(1), 39-68.
- El-Hani, C. (3 de marzo de 2020). *Os microorganismos que nos habitam e seu impacto sobre a evolução da sociedade humana*. Obtenido de Darwinianas. A ciência em movimento: <https://darwinianas.com/2020/03/03/os-microorganismos-que-nos-habitam-e-seu-impacto-sobre-a-evolucao-da-socialidade-humana/>
- Elliot, J. (2001). Making Evidence-based Practice Educational. *British Educational Research Journal*, 27(5).
- Ergazaki, M., Saltapida, K., y Zogza, V. (2010). From Young Children's ideas about germs to ideas shaping a Learning Environment. *Research in Science Education*, 40(5), 699-715.
- Escobar-Pérez, J., y Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en medición*, 6, 27-36.
- Feldman, D. (2018). Dos problemas actuales para la didáctica. *Revista de Educación* (1), 129-146.
- Fernández, I., Gil Pérez, D., y Valdés, P. (2005). ¿Que visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? En UNESCO, *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años* (págs. 29-69). Santiago de Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y El Caribe.
- Fernández, I., Guerrero, M., y Fernández, R. (2006). Las ideas previas y su utilización en la enseñanza de las ciencias morfológicas en carreras afines al campo biológico. *Tarbiya. Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 117-123.
- Fonseca, G. (2011). El Conocimiento Didáctico del Contenido del concepto de biodiversidad en profesores de formación de Biología. Un estudio de caso desde el diseño de una unidad didáctica. *Memorias del I Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de Biología y IV Enuentro Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental* (págs. 401-412). Bio-Grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza.
- Fraga, F. (2018). Towards an Evolutionary Perspective in Teaching and Popularizing Microbiology. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 19 (1), 1-6.

- Furman, M. (2016). *Educación de mentes curiosas: La formación del pensamiento científico y tecnológico en la infancia*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Santillana.
- Galicia, L., Balderrama, J., y Navarro, R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura*, 9 (2), 42-53.
- Gamboa, M. (2017). Estudio de caso como estrategia didáctica para el proceso de enseñanza-aprendizaje: retos y oportunidades. *Memorias del IX Encuentro Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental* y del *IV Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de Biología* (págs. 401-412). BioGrafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza.
- García, J. y Martínez, F. (2010). Cómo y qué enseñar de la biodiversidad en la alfabetización científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 175-184.
- García-Díaz, J., y García-Pérez, F. (2001). El conocimiento metadisciplinar y las didácticas específicas. *Congreso nacional de didácticas específicas: Las Didácticas de las Áreas curriculares en el siglo XXI* (págs. 409-421). Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Garrido, M. (2007). *La evolución de las ideas de los niños sobre los seres vivos*. Tesis doctoral, Universidade Da Coruña.
- Gerónimo, M., y López, D. (2017). Revisión de la literatura sobre las ideas previas de los niños acerca de la descomposición de los alimentos. *Bio-grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza* (Extraordinario), 1008-1016.
- Giordan, A. (1987). Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 105-110.
- Gómez, M. y Yepes, J. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: una estrategia pedagógica que posibilita el aprendizaje de los efectos ocasionados por los microorganismos en la salud. *Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa*, 4(1), 241-255.
- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., Low, A. (2014) *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. México: El Colegio de la Frontera Sur e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- González, L. (2020). Biodiversidad; cuestiones epistemológicas, perspectivas regionales e implicancias educativas. *Cátedra Doctorado Interinstitucional en Educación:*

Educación en biodiversidad, perspectivas y retos. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia-Universidad de Buenos Aires.

Guerra, M. (2011). *Estrategia pedagógica orientada a la biodiversidad y su conservación en la formación de estudiantes de Ciencias Naturales*. Tesis doctoral, Universidad de Ciencias Pedagógicas "José Martí", Camagüey.

Guerra, M., y López Valentín, D. (2011). Las actividades incluidas en el libro de texto para la enseñanza de las ciencias naturales en sexto grado de primaria. Análisis de objetivos, procedimientos y potencial para promover el aprendizaje. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 16 (49), 441-470.

Guerrero, R. y Berlanga, M. (2009). Darwin y la enorme diversidad microbiana. *Ambiociencias*, 100-108.

Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., y Sarriugarte, P. (2020). Design Tools as a Way to Explicitly Connect Research Insights with Design Decision for Teaching Learning Sequences. En J. Guisasola, & K. Zuza, *Research and Innovation in Physics Education: Two sides of the same coin* (págs. 109-118). Cham, Switzerland: Springer.

Halffter, G. (1994). ¿Qué es la biodiversidad?. Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural, 5-14.

Hanson, N. (1977). *Patrones de descubrimiento: observación y explicación*. Madrid: Alianza Editorial.

Hernández, A., Vargas-Robles, D., Alcaraz, L., Peinbert, M. (2020). Station and train surface microbiomes of Mexico City's metro (subway/underground). *Scientific Reports* 10, 8798. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65643-4>.

Hernández, M., y Cerda, M. (2019). Construcción y análisis de contenido de un instrumento para evaluar la planeación didáctica en Preescolar. *Atenas*, 3 (47), 161-179.

Hernández-Millán, G., Irazoque-Palazuelos, G., López-Villa, N. (2012). ¿Cómo diversificar los trabajos prácticos? Un experimento ilustrativo y un ejercicio práctico como ejemplos. *Educación Química*, 23(1), 102-111.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo en laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Ibarra-Morales D, Escandón-Pérez S, Fierro-Arias L, Bonifaz A. (2019). Reclasificación de *Propionibacterium acnes* a *Cutibacterium acnes*. *Dermatol. Rev. Mex.*, 63, 98-100.
- Ingraham, J. (2012). *March of the Microbes*. Harvard University Press.
- Izquierdo, M. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a leer y escribir textos de Ciencias de la Naturaleza. En J. Jorbá, I. Gómez, & A. Prat, *Hablar y escribir para aprender* (págs. 184-193). Barcelona: Síntesis.
- Jiménez-Aleixandre, M. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la biología. En M. Jiménez, A. Caamaño, A. Oñorbe, y D. P. Pedrinaci, *Enseñar ciencias* (págs. 119-142). Barcelona: GRAO.
- Jiménez-Sierra, C.; Torres-Orozco, R. y Martínez, P. (2010). Biodiversidad. Una alerta. *Casa del tiempo* 4 (36), 9-16.
- Johnston, J. (2009). What Does the Skill of Observation Look Like in Young Children? *International Journal of Science Education*, 31(18), 2511-2525.
- Jones, M., y Rua, M. (2006). Conceptions of Germs: Expert to Novice Understandings of Microorganisms. *Electronic Journal of Science Education*, 10(3), 1-40.
- Karadon, H., y Sahin, N. (2010). Primary school students' basic knowledge, opinions and risk perceptions about microorganism. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 4398-4401.
- Khalil, M., y Lazarowitz, R. (2014). A Conceptual Model (The Six Mirrors of the Classroom) and Its Application to Teaching and Learning about Microorganisms. *Journal of Science Education and Technology*, 85-100.
- Kohlhauf, L., Rutke, U., y Neuhaus, B. (2011). Influence of previous knowledge, language skills and domain-specific interest on observation competency. *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 667-678.
- Lago, A., Masiero, S., Bramuzzo, S., Callegaro, E., Poloni, E., Corrá, F., y Santovito, G. (2017). Exploring microbiology and biotechnologies: a laboratory approach to the study of the yeast and bacteria in primary school. *International Technology*,

Education and Development Conference (págs. 4110-4120). Valencia: INTED Proceedings.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2007). *Brock. Biología de los microorganismos*. Madrid: Prentice-Hall.

Mafra, P. (2012). *Os Microorganismos no 1º e 2º Ciclos do Ensino Básico: Abordagem Curricular, conceções Alternativas e Propostas de Atividades Experimentais*. Tesis doctoral, Universidade do Minho, Instituto de Educação.

Mafra, P., Lima, N., y Carvalho, G. (2015). Experimental Activities in primary School to Learn about Microbes in Oral Education Context. *Journal of Biological Education*, 49(2), 190-203.

Marín, M. (2009). *Guía Didáctica*. Documento inédito no publicado.

Marín, M. y Ramírez, L. (2019). Aprender a observar científicamente en el laboratorio. Una experiencia en educación básica sobre la diversidad de los protozoos. *Bio-grafía*, 13(24), 103-118.

Marcos-Merino, J., Esteban, R., y Ochoa, J. (2019). Formando a futuros maestros para abordar los microorganismos mediante actividades prácticas. Papel de las emociones y valoraciones de los estudiantes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1-19.

Margulis, L., y Chapman, M. J. (2009). *Kingdoms and domains: an illustrated guide to the phyla of life on Earth*. Academic Press.

Martínez, C., y Mendoza, L. (2016). Categorización de las ideas previas del concepto ecosistemas en estudiantes de sexto grado del Instituto Técnico Industrial Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). *XII Jornadas Nacionales y VII Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Martínez, C., y Mendoza, L. (2017). *Análisis de los resultados de la evaluación en competencias genéricas de las pruebas Saber Pro 2014 en programas de licenciatura en el área de las ciencias naturales y educación ambiental de cuatro universidades del país*. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Micropia (13 de julio de 2021). *Penicillium roqueforti. A famous cheesemaker*. Recuperado de: https://www.micropia.nl/en/discover/microbiology/penicillium-roqueforti/?__cat=i-p

- Molina, J., Paños, E., y Reyes, J. (2021). Microorganismos y hábitos de higiene. Estudio longitudinal en los cursos iniciales de Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18 (2), 1-19.
- Montaño, N., Sandoval, A. C., y Sánchez, J. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. *Elementos: ciencia y cultura*, 17 (77), 15-23.
- Nagy, M. (1953). The representation of "germs" by children. *Journal of Genetic Psychology*, 83(2), 227-240.
- National Human Genome Research Institute (8 de mayo de 2021). *Metagenómica*. Obtenido de National Humane Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Metagenomica>
- Navarro, R. (1994). *Intereses escolares*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Novak, J., y Gowin, D. O. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- Núñez, I., González, E., y Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, 28(7), 387-393.
- Oguz, A., y Yurumezoglu, K. (2007). The primacy of observation in inquiry-based science teaching. *International Association "Hands-On Science" The International Workshop Science Education in School*. Bucharest.
- O'Malley, M. (2014). *Philosophy of Microbiology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- O'Malley, M. (2016). Microbiology, philosophy and education. *FEMS Microbiology Letters*, 363 (17), 1-5.
- O'Malley, M., y Parke, E. (2020). Filosofía de la Microbiología. En E. Zalta, *The Standford Encyclopedia of Philosophy*. 2020: Standford University.
- Orozco, Y. (2017). O ensino da biodiversidade: tendências e desafios nas experiências pedagógicas. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 12 (2), 73-185.
- Osborne, R., y Freyberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias: influencia de las "ideas previas" de los alumnos*. Madrid: Narcea Ediciones.

- Osborne, R., & Gilbert, J. (1991). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15(6), 376.
- Peñaloza, G. [Doctorado DCTS Cinvestav]. (22 de febrero 2021). *Desafíos para los educadores en tiempos de pandemia: ¿Qué podemos aprender de la crisis actual?* [Video]. Recuperado de <https://youtu.be/JKa96NU3kKk>
- Pereira, L., Romão, E., Pantoja, L., & Paixão, G. (2014). O cordel no ensino de microbiologia: a cultura popular como ferramenta pedagógica no ensino superior. *RECIIS- Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, 8(4), 512-524.gyf4
- Pérez, G. y González, L. (2020). Actividades para fomentar la metacognición en las clases de biología. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 47, 233-247.
- Pérez, P. , Romero, Y., y Bernal, F. (2019). Promover la habilidad científica de observación en educación primaria: una perspectiva desde la reflexión pedagógica. *Bio-grafía*, 12(22).
- Pozo, J. (1996). Las ideas del alumnado sobre ciencia: de dónde vienen, a dónde van...y mientras tanto que hacemos con ellas. *Alambique*, 7.
- Puig, B. (2020). Una mirada amplia y objetiva para mejorar la enseñanza de los microorganismos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* (99), 7-10.
- Ramírez, L. (2017). *El desarrollo de la habilidad de observación científica a través de las actividades experimentales en educación básica*. Trabajo de grado, Universidad del Valle.
- Ramírez-Carrillo, E., Gaona, O., Nieto, J., Sánchez-Quinto, A., Cerqueda-García, D., Falcón, L., Rojas-Ramos, O....(2020). Disturbance in human gut microbiota networks by parasites and its implications in the incidence of depression. *Scientific Reports*, 10 (1), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60562-w>
- Rodríguez, C., Quiles, L. y Herrera, L. (2005). Teoría y práctica de los datos cualitativos. Proceso general y criterios de calidad. *Revista internacional de Ciencias Sociales y Humanidades SOCIOTAM*, 15 (2), 133-154.
- Rodríguez, M. (2021). *El desarrollo de la observación científica en el preescolar a través de una secuencia didáctica sobre la morfología de plantas*. Tesis de Maestría, Centro de

Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Monterrey.

- Rozo, J. (2011). Trabajo práctico: recurso que propicia el aprendizaje significativo sobre diversidad y ecología microbiana en estudiantes de grado cuarto (4°) del Colegio Champagnat de Bogotá. *Bio-Grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 4(6), 1-18.
- Salamanca, A. (2017). *Prácticas culturales y conocimientos científicos escolares: una actividad basada en los intereses e inquietudes de los niños y las niñas*. Tesis de Maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Santos, A., Lima, E., y Oliveira, V. (2019). Aula Práctica no ensino de ciências da natureza: uma proposta para o ensino de microbiologia ensino fundamental II. En K. Campones, *A Interlocução de Saberes na Formação Docente* (págs. 47-56). Paraná: Atena Editora.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de Unidades Didácticas. En: P. Cañal y F. Perales, *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (págs. 239-265). Madrid: Editorial Marfil.
- Secretaría de Educación Pública-SEP (2021). Secundaria. Programas de Estudio. Obtenido de: <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/secundaria-programas-de-estudio>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT (2007). *Biodiversidad*. Obtenido de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap4_biodiversidad.pdf
- Schrager, J., & Reyes, P. (2001). *Muestreo No-probabilístico*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Simmoneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with "microbes" as a contribution to research in biotechnology education. *International Journal of Science Education*, 22(6), 619-644.
- Skliar, C. (2002). Alteridades y pedagogías. O... ¿y si el otro no estuviera ahí? *Educação & Sociedade*, 23 (79), 85-123.
- Stenhouse, L. (1975). *An introduction to Curriculum Research and Development*. Londres: Heineman.

- Tamayo, O. (2006). La metacognición en los modelos para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En: *Los bordes de la pedagogía: del modelo a la ruptura*. Universidad Pedagógica Nacional. 275-306.
- Tamayo, O., Zona López, J. y Loaiza Zuluaga, Y. (2017). La metacognición como constituyente del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, Número extraordinario, 1031-1036. <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4849/3980>.
- Timmis, K., Cavicchioli, R., García, J., Nogales, B., Chavarría, M., Stein, L., . . . Handelsman, J. (2019). The urgent need for microbiology literacy in society. *Environmental Microbiology*, 21(5), 1513-1528.
- Trejos, E., & Bedoya, Y. (2019). *Microorganismos: Una estrategia didáctica para enseñar Ciencias Naturales a través de situaciones problema para propiciar la transformación social*. Trabajo de grado, Universidad de Antioquia.
- Valério, M. y Torresan, C. (2017). A invenção do microscópio e o despertar do pensamento biológico: um ensaio sobre as marcas da tecnologia no desenvolvimento das ciências da vida. *Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio*, 10 (1), 125-134.
- Vázquez, A., Acevedo, J., Manassero, M., y Acevedo, P. (2006). Actitudes del alumnado sobre ciencia, tecnología y sociedad, evaluadas con un modelo de respuesta múltiple. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 8 (2), 2-37.
- Vázquez, J. (2004). La observación científica en el proceso de contrastación de hipótesis y teorías. *Theoría*, 49, 77-95.
- Vygotsky, L. (2013). *Pensamiento y lenguaje*. España: Grupo Planeta.
- Weng, Z., Díaz, O., & Álvarez, I. (2005). Conservación de los microorganismos: ¿qué debemos conocer? *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 43(1), 1-4.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario para la exploración del pensamiento de estudiantes respecto a los microorganismos.

¡Hola! Recibe un cordial saludo.

Has sido invitado(a) para completar este cuestionario, que está dirigido a estudiantes de escuela secundaria. Forma parte de una investigación en México. Para poder elaborar materiales educativos, nos interesa saber lo que piensas y opinas sobre algunos temas de biología. Por favor responde las preguntas seleccionando la respuesta que se acerque más a lo que tú sabes ahora, sin consultar otros materiales o internet. Los datos que proporciones a continuación serán utilizados solo con fines educativos, se protegerán en archivos seguros y serán completamente anónimos.

Gracias de antemano por participar.

Cristian Martínez y Teresa Guerra.

Datos generales:

1. Indica el país en el que vives:
2. Estado/Departamento en el que vives:
3. Ciudad o Municipio en el que resides:
4. Edad:
5. Genero:
6. Grado escolar que cursas actualmente:
 Primer grado de secundaria (sexto de bachillerato colombiano).
 Segundo grado de secundaria (séptimo de bachillerato colombiano).
 Tercer grado de secundaria (octavo de bachillerato colombiano).
7. Tipo de escuela a la que asistes:
 Pública
 Privada

Preguntas abiertas:

8. Indica cinco términos o palabras que consideres que están relacionadas o están asociadas a los microorganismos.
9. ¿Qué has aprendido sobre los microorganismos en tus clases de biología?

10. ¿Qué le preguntarías a un(a) experto(a) en microorganismos? ¿Qué quisieras saber sobre ellos?

11. ¿Qué asuntos sociales consideras que están relacionados con los microorganismos?

Preguntas con escala:

12. ¿Crees que hay microorganismos presentes en los siguientes lugares?

Enunciado	Si	No	No se
En las plantas			
En el interior de la boca			
En la sala de operaciones de un hospital			
En el suelo de los parques			
En un charco de agua sucia			
En una naranja podrida			
Al interior de una botella con alcohol antiséptico			

13. ¿Crees que los microorganismos están involucrados en los siguientes procesos?

Enunciado	Si	No	No se
Producción de alimentos			
Tratamiento de aguas residuales			
Producción de plásticos			
Fermentación de bebidas alcohólicas			
Descomposición de materia orgánica			
Prevención de enfermedades			
Elaboración de cosméticos			

14. Establece si estás de acuerdo o en desacuerdo con las siguientes afirmaciones:

Enunciado	De acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo o en desacuerdo
Debemos cuidarnos de todos los microorganismos porque nos pueden causar enfermedades			
Los microorganismos no benefician en nada a mi comunidad			
Le tengo temor a los microorganismos			

La idea de tener microorganismos cerca de mí me da asco			
Es necesario que haya personas que estudien a los microorganismos para el beneficio de nuestra sociedad			
Algunos microorganismos son útiles para hacer vacunas			
Los microorganismos siempre están en lugares sucios como la basura			

Preguntas de selección múltiple con única respuesta (Adaptado de Marcos-Merino *et al.*, 2018):

Selecciona la respuesta que consideres correcta

15. ¿Qué funciones vitales realizan los microorganismos?

Realizan la nutrición, la interacción y la reproducción

Realizan la propagación, la colonización y la infección

Solo realizan la reproducción

No realizan ninguna función vital

16. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es CORRECTA?

Un microorganismo es un animal pequeño que propaga enfermedades

Un microorganismo es un ser vivo que no se ve a simple vista

Ningún moho creciendo sobre una fruta es un microorganismo

Los microorganismos no se ven, aunque se junten millones de ellos

17. ¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?

Bacterias y levaduras

Virus y priones

Óvulos y espermatozoides

Cilios y esporas

18. ¿A qué microorganismos matan los antibióticos?

Virus

Hongos

Todos los microorganismos

Bacterias

19. ¿Después de qué acción no es necesario lavarse las manos?

Después de ir al baño

Después de manipular monedas y billetes

Después de usar gel anti-bacterial

Después de limpiarte la nariz

20. ¿En cuál de los siguientes ambientes no hay microorganismos?

En las profundidades del mar

En el aire del campo

En los poros de la piel

En la sangre de una persona sana

21. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es INCORRECTA?

Los microorganismos tienen un ciclo de vida

Los microorganismos pueden aparecer de repente donde no los había

Los microorganismos se reproducen en las condiciones apropiadas

Los microorganismos provienen de otros microorganismos

22. ¿Con qué objetivo se añade cloro al agua?

Para aromatizarla

Para esterilizarla

Para hacerla aséptica

Para limpiarla

23. Al tomar una muestra de sangre para un estudio clínico, se trata la zona con alcohol antes de pincharte para:

Enfriar la zona y que se vea mejor la vena

Retirar microorganismos de la zona

Que no te duela

Facilitar la entrada de la aguja

24. Después de tocar saliva, mocos o flemas de un enfermo de gripa debes lavarte las manos:

Para que no queden microorganismos

Para quitar residuos resbalosos

Para hidratarlas y enjabonarlas

Para activar al sistema inmunológico

Comentarios

¿Tienes algún comentario respecto a este cuestionario?

Anexo 2. Instrumento de evaluación para la aplicación del juicio de expertos y expertas



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
UNIDAD MONTERREY
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN EN BIOLOGÍA PARA LA FORMACIÓN CIUDADANA



VALIDACIÓN DE MATERIAL EDUCATIVO POR JUICIO DE EXPERTOS *"Detectives de Microorganismos: Aprendiendo sobre la diversidad de microorganismos desde la Observación Científica"*

Fecha y lugar de elaboración: Apodaca, Nuevo León, a 8 de julio de 2020.

Elaborado por: Lic. Cristian Yasser Martínez Rodríguez

Estudiante de la Maestría en Educación en Biología para la Formación Ciudadana.

Revisada por: Dra. María Teresa Guerra Ramos

Profesora-Investigadora Cinvestav Monterrey.

En el marco de una tesis de la Maestría en Educación en Biología para la Formación Ciudadana del Centro de Investigación y Estudios Avanzados Unidad Monterrey, se presenta a continuación el material educativo titulado: *"Detectives de Microorganismos: Aprendiendo sobre la diversidad de microorganismos desde la Observación Científica"*, dirigida a estudiantes de primer grado de secundaria en México y sexto grado de bachillerato en Colombia.

El objetivo general de esta secuencia consiste en promover el reconocimiento de los microorganismos como parte de la diversidad biológica a partir de la habilidad de la observación científica.

Con relación a los y las estudiantes, los objetivos de aprendizaje son que:

- Reconozcan aspectos morfológicos y las relaciones ecológicas de los microorganismos, a partir del desarrollo de la observación científica.
- Elaboren un recurso de divulgación científica para compartir lo que saben sobre el papel de los microorganismos en la vida cotidiana.

De manera general, el material educativo intenta promover el pensamiento científico en el contexto de la escuela a través de la observación, como una acción que va más allá de la percepción de fenómenos cotidianos; y cuyo registro se da a través de descripciones textuales o gráficas (dibujos y esquemas); utilizando como pretexto el contexto de la diversidad de microorganismos o biodiversidad.

Teniendo en cuenta este panorama general, solicitamos a usted atentamente su colaboración en la evaluación como EXPERTO de este material. Esta evaluación estará compuesta por dos etapas:

- La *primera etapa* consistirá en validar y evaluar el contenido del material de acuerdo con los criterios que aquí se exponen, mediante el llenado de este instrumento.
- La *segunda etapa* tendrá la finalidad de compartir las modificaciones realizadas a través de una entrevista (videollamada), a manera de retroalimentación final.

Algunas sugerencias para llevar a cabo la revisión en la primera etapa.

1. Lea con calma el material educativo. La idea es que sea una actividad enriquecedora y fluida.



2. Es ideal que se realicen comentarios dentro del material educativo. Para insertarlos, se aconseja abrir el archivo (de extensión *.pdf*) en el programa *Adobe Acrobat Reader DC* (se activa presionando el botón  del menú de la parte superior), aunque se puede usar cualquier lector de PDF que permita hacer comentarios dentro del contenido.
3. Al terminar de leer y comentar el material, siga las instrucciones contempladas a continuación. Encontrará los ítems que se evaluarán en esta primera etapa.

DATOS DEL EXPERTO¹:

Nombres y Apellidos: _____
 Formación académica: _____
 País: _____
 Fecha de llenado de _____
 instrumento: _____
 Institución donde labora: _____
 Cargo: _____

PARTE I: PREGUNTAS CERRADAS:

Las preguntas cerradas están compuestas por los ítems se exponen en el siguiente cuadro. Indique con una X la opción que considere que corresponda, de acuerdo a su criterio. Realice las observaciones que justifiquen su respuesta en caso de que sea necesario.

Item ²	De acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Observaciones
El tratamiento didáctico de la diversidad de microorganismos es claro y pertinente.				
La propuesta del material está bien orientada a los objetivos.				
El lenguaje es el adecuado a la edad de los y las estudiantes.				
La introducción dirigida al profesor o a la profesora es				

¹ Los datos personales que se proporcionen serán tratados de forma confidencial y resguardados en archivos seguros. Así mismo, las respuestas proporcionadas serán tratadas de forma anónima y sólo serán usados con fines educativos e investigativos.



Item ²	De acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Observaciones
entendible y coherente.				
Las ilustraciones son relevantes, y se ajustan al contenido.				
Las actividades prácticas son coherentes.				
Las finalidades de cada sección tienen relación con el contenido disciplinar.				
La organización del material es adecuada.				
El apartado "Bioblog": Secretos microbianos está estructurado y es coherente.				
Las actividades propuestas contribuyen a la aproximación sistemática a la habilidad de observación en los y las estudiantes.				
El tamaño y el tipo de fuente es el adecuado.				

PARTE II: PREGUNTAS ABIERTAS

Las preguntas abiertas son las siguientes:

1. ¿Qué fortalezas y debilidades encuentra en la formulación de las actividades propuestas en el material didáctico?

Fortalezas: _____



Debilidades: _____

2. ¿Qué recomendaciones y/o sugerencias tendría usted para mejorar las actividades propuestas en el material educativo?

Finalmente, agradecemos atentamente su participación en esta validación, esperando continuar con la siguiente etapa (entrevista). Si desea, puede agregar un comentario, o bien, extender la respuesta a alguna de las preguntas anteriormente expuestas.

Anexo 3. Material rediseñado

En el siguiente enlace se aloja el material resultante del trabajo de tesis:

<https://sites.google.com/view/detectivesmicroorganismos/presentaci%C3%B3n?authuser=0>

En caso dado que el enlace no funcione, se puede solicitar enviando un correo a: yasser.martinez@cinvestav.mx o joeramone93@gmail.com.