

**Investigación escolar en biotecnología para el desarrollo de competencias
científicas con estudiantes de grado décimo del Colegio Santo Tomás de Aquino**

Laura Natalia Osorio Herrera

Maestría en Estudios Contemporáneos en Enseñanza de la Biología

Departamento de Biología

Facultad de Ciencia y Tecnología

Universidad Pedagógica Nacional

Bogotá D.C.

2025

Investigación escolar en biotecnología para el desarrollo de competencias científicas con estudiantes de grado décimo del Colegio Santo Tomás de Aquino

Laura Natalia Osorio Herrera

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster En Estudios Contemporáneos En Enseñanza De La Biología

Directora: Silvia Gómez Daza M.Sc.

Docente Departamento de Biología

Universidad Pedagógica Nacional

Línea de investigación Biodiversidad, Biotecnología y Conservación

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Biología

Bogotá D.C.

2025

Agradecimientos

A mis padres, Germán y Adriana, por el apoyo incondicional durante estos dos años, por siempre confiar en mí y ayudarme a no perder las fuerzas en los momentos complicados aun desde la distancia.

A mi familia elegida, Daissy y Mateo, quienes no solo han sido una mamá y un hermano para mí, sino que con su amor incondicional estuvieron siempre presentes en cada etapa del proceso, celebrando mis triunfos y apoyándome en la dificultad.

A mi profe y asesora Silvia Gómez, quien dedicó su tiempo y conocimiento para enseñarme y apoyarme en este camino. Por su orientación, paciencia y su presencia en esta investigación, pues en cada paso me acompañó de manera incondicional para lograr consolidar este trabajo. Gracias por creer en mí.

A los maestros de la MECEB, en especial al profe Jairo Robles, por sus enseñanzas, por impulsarme a enfrentarme a nuevos retos académicos y creer en mis capacidades.

A Juan Fe, Mika, Fran, Dani y Santi por su entera confianza en mí. Sin su participación y su ánimo incansable esto no hubiera sido posible, gracias por hacer parte de esta aventura y hacer de ella un lugar tan especial. Su dedicación y su alegría trascenderán siempre.

A Kami, Guille y Sam, mis amigos que me animaron para entrar a la maestría y siempre confiaron en mis capacidades para lograr este proyecto. Gracias por ver el avance día a día, dar siempre una mano amiga y no dejarme desfallecer cuando las cosas se ponían difíciles.

A mis amigos de confianza, Dieguis, Cami D, Cami C y Eli, quienes siempre han estado ahí para mí, sin ustedes mi vida no sería la misma. Gracias por escucharme y apoyarme.

A Irene y Andre, y a los compañeros con quienes compartí clases en estos dos años que duró la maestría. Gracias por sus palabras de apoyo, por escuchar y por compartir sus experiencias.

A Hoshi y Sora, por estar y existir. Siempre.

Tabla de contenido

Introducción	9
1. Planteamiento del problema	12
2. Justificación	15
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos	20
4. Antecedentes	21
4.1 La biotecnología en el campo educativo	21
4.1.1 Internacionales	21
4.1.2 Nacionales	25
4.1.3 Locales	30
4.2 La investigación educativa y escolar en el aula	35
4.2.1 Internacionales	35
4.2.2 Nacionales	39
4.2.3 Locales	43
5. Marco referencial	49
5.1 La biotecnología en el campo educativo	49
5.2 Investigación en el aula	54
5.2.1 Investigación de los estudiantes	55
5.2.2 Investigación del maestro	59
5.2.3 Investigación del maestro con los estudiantes	62
6. Marco Metodológico	64
6.1 Paradigma: Hermenéutico-interpretativo	64
6.2 Enfoque de investigación	65
6.3 Contextualización	65
6.3.1 Caracterización de la institución educativa	65
6.3.2 Población y muestra	66
6.4 Confidencialidad de datos	66
6.5 Manejo de material biológico y químico	66
6.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	67

6.7	Análisis de contenido cualitativo	68
6.8	Diseño metodológico	70
6.8.1	Fase 1. Contextualización	70
6.8.2	Fase 2. Diseño del proyecto	71
6.8.3	Fase 3. Experimentación	72
6.8.4	Fase 4. Escritura y Socialización del trabajo	72
6.8.5	Fase 5. Reflexiones finales de la maestra	73
7.	Resultados Y Análisis	74
7.1	Fase 1. Contextualización	74
7.2	Fase 2. Diseño del proyecto.....	77
7.3	Fase 3. Experimentación.....	83
7.4	Fase 4. Escritura y Socialización del trabajo	89
7.5	Fase 5: Reflexiones finales de la maestra	98
8.	Conclusiones.....	108
9.	Recomendaciones	113
	Referencias.....	114
	Anexos.....	124

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Distintas propuestas de competencias científicas desarrolladas durante la investigación escolar</i>	57
Tabla 2 <i>Fuentes y codificación de la información</i>	69
Tabla 3 <i>Competencias científicas desarrolladas por los estudiantes durante la investigación escolar</i>	75
Tabla 4 <i>Algunas reflexiones iniciales de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas</i>	81
Tabla 5 <i>Algunas reflexiones intermedias de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas</i>	86
Tabla 6 <i>Algunas reflexiones finales de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas</i>	91
Tabla 7 <i>Matriz de progresión de las competencias científicas en la estudiante 4</i>	105

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Áreas que impacta la biotecnología</i>	50
Figura 2 <i>Diseño metodológico de la investigación</i>	70
Figura 3 <i>Nube de palabras del conversatorio</i>	78
Figura 4 <i>Registro fotográfico de estudiantes en fase experimental y algunas notas de sus cuadernos de laboratorio</i>	85
Figura 5 <i>Registro fotográfico de estudiantes en socialización y fragmentos de sus correspondientes pósteres</i>	95

Lista de Anexos

Anexo 1 <i>Formato de consentimiento informado</i>	124
Anexo 2 <i>Preguntas conversatorio inicial</i>	126
Anexo 3 <i>Preguntas reflexión inicial IB</i>	127
Anexo 4 <i>Preguntas reflexión intermedia IB</i>	128
Anexo 5 <i>Preguntas reflexión final IB</i>	129
Anexo 6 <i>Documentos de investigación de los estudiantes</i>	130

Introducción

La presencia de la biotecnología en nuestra cotidianidad es cada vez mayor, sus implicaciones en la sociedad y su impacto en otras áreas no puede desconocerse. Es así que su difusión ha sobrepasado el contexto de lo científico y ha encontrado sitio en medios de comunicación y redes sociales, pasando a ser un contenido consumido por la población general. Eso ha conllevado que se generen distintas controversias frente a los avances biotecnológicos, que no siempre son del todo comprendidos o son malinterpretados debido a la forma en la que son transmitidos en los medios. Es por ello, que surge la necesidad de brindar herramientas que permitan una aproximación holística al conocimiento biotecnológico, de modo que puedan darse discusiones en las que haya participación democrática fundamentada en el pensamiento crítico y no desde el desconocimiento o el prejuicio (Brossard, 2019).

Una de las instancias ideales para este abordaje es en la escuela, donde si bien ya se contempla la enseñanza de contenidos relacionados con la biotecnología, en ocasiones se hace con carácter informativo e ilustrativo, y aunque no es la norma, sí hay una tendencia considerable a emplear estrategias tradicionales para su enseñanza (Roa, *et al.*, 2019; Occelli, *et al.*, 2018). Estas aproximaciones no siempre favorecen el aprendizaje significativo, contextualizado y que desarrolle otras capacidades más allá de las conceptuales. Es por ello, que en el presente trabajo se problematiza la incidencia de la investigación escolar en biotecnología como estrategia para el desarrollo de competencias científicas.

Para esto, se realizó una investigación con estudiantes de grado décimo del Colegio Santo Tomás de Aquino, quienes cursan por dos años el Programa del Diploma (PD) propuesto por la Organización del Bachillerato Internacional (IBO), y que escogieron la biología como asignatura para realizar su trabajo de grado, enfocándose en la

biotecnología. El paradigma trabajado fue el hermenéutico-interpretativo con un enfoque cualitativo, a partir del cual se recolectan datos mediante la revisión de documentos, la observación, las entrevistas y el diario de campo. La información obtenida se interpretó mediante el análisis de contenido cualitativo. La metodología se dividió en cinco fases: contextualización, diseño del proyecto, experimentación, escritura y socialización del trabajo, y reflexiones finales de la maestra. Durante estas fases, se llevó a cabo la investigación en conjunto con los estudiantes para evaluar sus implicaciones en los procesos de aprendizaje y enseñanza.

Durante la primera fase, se desarrolló una revisión documental donde se consultaron diferentes implicaciones y estrategias de la enseñanza de la biotecnología, así como de la investigación escolar; y además, se consultaron documentos institucionales y del PD. Con ello, se delimitó la forma en la que se ejecutarían las siguientes fases y las competencias científicas a las que se les hizo seguimiento. Luego, se realizó el acompañamiento a los estudiantes para el diseño de cada proyecto de investigación escolar y su posterior desarrollo experimental. Una vez finalizado esto, se dio lugar a la fase cuatro, en la que, con la guía de la docente cada estudiante prosiguió a finalizar el proceso escritural del documento y su socialización oral a compañeros de la institución. Finalmente, se realizó la reflexión de la maestra frente a todo el proceso, donde evaluó la transformación de su práctica y las implicaciones que tiene el emplear la investigación escolar en biotecnología como estrategia didáctica.

Entre los resultados más destacados se encuentra el desarrollo de las competencias científicas a las que se les hizo seguimiento, poniendo en evidencia como el trabajo de investigación promovió en los estudiantes la mejora en capacidades y habilidades conceptuales y procedimentales, cambio en actitudes frente a la biotecnología y la investigación; así como también, competencias relacionadas con las implicaciones en

ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA). Respecto a la práctica docente, se encontraron varios espacios de transformación y evaluación de la misma, permitiendo tomar un rol de acompañante efectivo al proceso de investigación, en vez de relegar a los estudiantes a un rol pasivo frente a su propio aprendizaje. De este modo, pudieron analizarse las implicaciones que emergen de la investigación escolar en biotecnología como estrategia didáctica, poniendo en primera instancia el abordaje integrado de sus diferentes impactos y el establecimiento de posturas críticas fomentadas a partir del proceso investigativo. Así mismo, se observó un acercamiento continuo de otras áreas además de las pertenecientes al contexto científico, abriendo las puertas a discusiones relacionadas con las controversias socio-científicas, entre otras.

Con esta investigación, se pretende aportar conocimiento frente a las estrategias que favorezcan la enseñanza y aprendizaje significativo y contextualizado, y que a su vez permitan satisfacer las necesidades educativas de instituciones que incursionan en programas curriculares con altas exigencias frente al desarrollo de habilidades y capacidades para la vida. Así mismo, brinda elementos para la reflexión del maestro, invitando a la transformación constante de su quehacer en función de mejorar las prácticas en el aula al ajustarse a las necesidades particulares y conocimientos previos del alumnado dentro de la perspectiva de las pedagogías activas.

1. Planteamiento del problema

La sociedad está inmersa en avances biotecnológicos, esto se evidencia en cómo se visibiliza cada vez más en los medios de comunicación y en nuestra cotidianidad. Siendo así que contenidos relacionados a estos han encontrado un lugar en las noticias y en redes sociales, por lo que están cada vez más al alcance de las personas fuera del ámbito investigativo. Pese a esto, en ocasiones esta información se transmite o se interpreta desde visiones parcializadas donde suelen darse perspectivas negativas o que no contemplan todos los alcances de la biotecnología. Así mismo, el conocimiento científico y tecnológico para tener una postura crítica frente a debates biotecnológicos no necesariamente es el adecuado, puesto que tiende a abordarse tomando de referencia preconcepciones generadas a partir de la malinterpretación de la información científica y otras creencias (Brossard, 2019). Por lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de abordarla en el aula, encomendando a la escuela empoderar a los futuros ciudadanos en estas temáticas que son parte de las controversias socio-científicas actuales.

Por lo que, contenidos como transgénicos, clonación, biorremediación, fermentación, terapia génica, vacunas, entre otros son trabajados por los maestros en la escuela (Gómez, *et al.*, 2024; Espinel, 2020; y Occelli, *et al.*, 2018). Sin embargo, de acuerdo con González (2024a), Franco (2020) y Villalobos (2018), en muchos casos sucede que, al priorizarse el enfoque conceptual, se pierde la oportunidad para reconocer con los estudiantes sus implicaciones e impactos, y por tanto no suele abordarse la relación con la tecnología, la sociedad, el ambiente; así como con otros campos siendo ejemplo de ellos la medicina, la industria, entre muchos otros. Esto incluye también ser consciente de las discusiones generadas en diferentes contextos para tomar posturas críticas, según Occelli, *et al.* (2018): “La participación democrática en estos debates requiere poner en juego un sistema de conocimientos, habilidades y juicios de valor que involucran aspectos científicos,

tecnológicos, económicos, ambientales, éticos, entre otros” (p. 33), razón por la cual se requiere favorecer la formación de estudiantes reflexivos y críticos, para que puedan hacer parte activa de los debates en varios campos debido a los desarrollos biotecnológicos, y las controversias que estos generan.

De hecho, esta educación de futuros ciudadanos no es solo deseable para afrontar las mencionadas discusiones, también se hace necesaria al surgir propuestas curriculares que pretenden formar jóvenes indagadores, competitivos y con aptitudes para desenvolverse en la sociedad actual. Ejemplo de ello, es el Programa del Diploma (PD) ofrecido por la Organización del Bachillerato Internacional (IBO por sus siglas en inglés), el cuál empieza a implementarse en el Colegio Santo Tomás de Aquino en los grados décimo y undécimo en el año 2024. Resulta un reto formativo entonces, pues los estudiantes deben demostrar una serie de atributos como ser indagadores, conocedores, razonadores, comunicadores, íntegros, de mentalidad abierta, solidarios y audaces (IBO, 2023). De la misma forma, su propuesta de enseñanza en las ciencias busca desde un currículo teórico-práctico el “cultivar el pensamiento crítico para que el alumnado sea capaz de analizar, evaluar y sintetizar información científica a la vez que comprende las limitaciones y las posibilidades de la ciencia cuando se abordan desafíos globales” (IBO, 2024, párr.3), por lo cual se hace necesario abordar estrategias en la institución destinadas a aproximarse a la enseñanza de la ciencia a través de un reconocimiento de las diversas dimensiones relacionadas con la producción de conocimiento y desarrollo en esta; así como por supuesto se busca generar un aprendizaje significativo.

Así las cosas, las habilidades y capacidades necesarias en este contexto sobrepasan una mera comprensión conceptual y procedimental, sino que requieren que los estudiantes desarrollen competencias científicas necesarias a fin de desenvolverse en su vida académica, profesional o empresarial; y enseñando a través de la biotecnología y sus

implicaciones e impactos, se da el escenario para el alcance de estos objetivos. Sin embargo, esto trae consigo retos al maestro que le llevan a reflexionar su quehacer en el aula para transformarla, incluyendo las estrategias que emplea. Frente a estas, la investigación escolar permite que, mediante un tema de su interés, el estudiante formule hipótesis, diseñe experimentos, trabaje en equipo y desarrolle habilidades investigativas; lo cual favorece a un aprendizaje activo, significativo y contextualizado (Gómez, *et al.*, 2024).

Atendiendo a los requerimientos previamente mencionados y en aras de mitigar las dificultades discutidas, se plantea la siguiente pregunta problema:

¿De qué manera la investigación escolar en biotecnología como estrategia fomenta el desarrollo de competencias científicas con estudiantes de grado décimo mientras la maestra transforma su quehacer?

2. Justificación

La biotecnología se ha caracterizado por estar presente en las acciones y prácticas de la humanidad desde tiempos ancestrales, aportando soluciones a los desafíos y problemáticas que se han presentado a lo largo de la historia, por tanto, su definición ha cambiado en respuesta a la época, el entorno, el contexto y las necesidades de quién lo emplea (Muñoz de Malajovich, 2012). Tan es así que la podemos encontrar en nuestra cotidianidad desde la industria, la medicina, la agricultura, el arte entre otros.

A pesar de esta presencia en aumento de la biotecnología en diferentes medios y su relación con variadas disciplinas, su incorporación en el contexto educativo ha sido más lenta en comparación con otros campos. Mientras la biotecnología avanza de manera acelerada en distintos sectores, en la escuela su impacto ha sido tardío, situación que se refleja en la desinformación que persiste en torno a ella (Brossard, 2019). Esto no necesariamente porque no se eduque al respecto, sino por la forma en la que se hace. Frente a ello, Roa, *et al.* (2019) afirmaron:

La educación sobre la biotecnología tiende a verse como un asunto de informar y, acaso, de ambientar a las personas, estudiantes y profesores respecto a las técnicas de laboratorio actuales, pero no suele cuestionarse la enseñanza y el conocimiento y lo que implica con ello el aprendizaje. (p. 413).

Así mismo, los documentos orientadores emitidos por el Ministerio de Educación (MEN) dan cuenta de esto, la presencia en general de la biotecnología en los Lineamientos Curriculares (LC), Estándares Básicos de Competencias (EBC) y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) de ciencias naturales, es limitada y predominantemente conceptual, con un enfoque informativo más que interdisciplinar. Si bien se reconoce su relación con el estudio de los microorganismos, la manipulación genética o las implicaciones sociales y

éticas de ciertas técnicas, estas menciones son escasas y poco articuladas a propuestas pedagógicas integradoras (MEN, 2016; MEN, 2004; MEN, 1998).

Pese a la poca presencia explícita de la biotecnología en los documentos del MEN, la cantidad de contenidos que abordan los maestros de ciencias naturales en el aula ha ido aumentando, incluyendo aquellos relacionados con aplicaciones modernas. Entre los más recurrentes están: vacunas, clonación, fermentación, medios de cultivo para microorganismos y tejidos vegetales, manipulación genética, biodiversidad, microbiología, clasificación de la biotecnología, biotecnología industrial y biorremediación, además de temas inherentes a la biotecnología médica (Gómez *et al.*, 2024; Ocelli *et al.*, 2018). Esta ampliación temática evidencia la pertinencia de la biotecnología como objeto de enseñanza, así como la necesidad de abordarla considerando los múltiples campos sobre los que incide.

En este sentido, su enseñanza no puede concebirse de manera aislada de los fenómenos biológicos ni de sus implicaciones en otras disciplinas. Reconocer el carácter interdisciplinar de la biotecnología implica también replantear las metodologías desde las cuales se enseña. Como plantea Ocelli, contenidos clásicos de la biología, como el ADN, pueden abordarse a partir de desarrollos biotecnológicos actuales, permitiendo analizar problemáticas contemporáneas relacionadas con la salud, la justicia o la sociedad (como se citó en Hroncich, 2021).

De igual importancia, mediante la enseñanza de la biotecnología no solo se da la posibilidad de explorar sus implicaciones, sino que también se pueden desarrollar diferentes competencias, entre ellas las técnicas, científicas, comunicativas y ciudadanas (Franco, 2020). Esto permite evidenciar las ventajas que trae involucrar la biotecnología en el aula, en especial cuando hoy en día se busca que la educación sea innovadora y traiga consigo el desarrollo de una gran diversidad de habilidades, capacidades, actitudes, entre otros.

Estas consideraciones adquieren particular importancia en el marco del Bachillerato Internacional, específicamente del Programa del Diploma (PD) implementado en el Colegio Santo Tomás de Aquino. Este programa propone la formación de estudiantes con mentalidad abierta, capaces de comprender y evaluar distintos puntos de vista, así como de desarrollar habilidades asociadas a la naturaleza de la ciencia y a la construcción del conocimiento científico (IBO, 2023). En el área de biología, estas habilidades se fortalecen a través de la investigación independiente, requisito fundamental del programa que aporta, según IBO (2023) “al desarrollo de habilidades de investigación, pensamiento, autogestión y comunicación que favorecerán el aprendizaje en el curso de Biología y en estudios posteriores” (p.11). Donde se satisface el perfil competitivo de un estudiante que ha cursado el PD; pero además también permite el desarrollo de habilidades necesarias para otras instancias de la vida académica y en comunidad.

Debido a lo anterior, se contempla la pertinencia de emplear estrategias como la investigación escolar, la cual permite que los estudiantes “desarrollen competencias investigativas y formativas que apunten hacia la estructuración del pensamiento científico” (Jiménez y Loaiza, 2019, p. 42). Se presenta aquí una oportunidad para fortalecer las competencias científicas, al favorecer la apropiación de conocimientos teóricos y su articulación con los aspectos prácticos de los fenómenos estudiados, potenciando a la vez habilidades en otras disciplinas (Moya, *et al.*, 2011), posibilitando una construcción activa del saber al explorar problemáticas de interés personal, a la vez que desarrollan habilidades como el pensamiento crítico, la argumentación, la formulación de preguntas y la capacidad de análisis.

Además, debe tenerse en cuenta el rol del docente en el proceso de investigación, puesto que no solo es quien la orienta y apoya su desarrollo, sino que como afirmaron Villalba y González (2017), su papel también se relaciona con la construcción de los saberes

pedagógicos mediante la reflexión, experimentación, escritura y diálogo; que se darán de manera sucesiva e interrelacionada con el estudiante. Será entonces el propósito del maestro, sumado a abordar los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, también involucrar de manera activa las temáticas de biotecnología con otras áreas; logrando así una comprensión de los fenómenos intrínsecos de otras disciplinas relacionadas, en conjunción con una contextualización que permita desarrollar habilidades de pensamiento crítico.

Para concluir, con ese trabajo se pretende aportar estrategias de aprendizaje y enseñanza a través de la investigación escolar en biotecnología, de modo que mediante metodologías no tradicionales se permita la participación de los estudiantes y se favorezca el desarrollo de competencias científicas en el transcurso de la investigación en conjunto del maestro con los estudiantes. Vale la pena destacar qué, dado que este abordaje se aleja de lo tradicional aun tratándose de investigación escolar (pues es más común que se haga por o sobre los estudiantes), se proponen nuevas perspectivas frente a los alcances de esta en el desarrollo de capacidades, habilidades y actitudes de todos los actores. Este nuevo conocimiento pretende ampliar la gama de estrategias en la enseñanza de la biología.

Ahora bien, al hacerse a través de la biotecnología no solo se pretende dar perspectivas más amplias que las ofrecidas por los medios actuales, sino que también dar herramientas para la educación científica, que a su vez permitan aproximarse al papel de la ciencia en otros contextos. Toda vez que pueda comprenderse esta desde lo contemporáneo, abarcando su enseñanza y aprendizaje desde sus distintas implicaciones, interrelaciones, bondades y limitaciones en el marco del pensamiento crítico y reflexivo. De este modo, la formación de los estudiantes irá más allá de lo tradicional, dado a que

trascenderá a perspectivas que les permitan hacerse ciudadanos que participen activamente de los debates actuales.

Con ello se responde también a las necesidades particulares de la institución educativa respecto al bachillerato internacional, donde se busca satisfacer una formación que desarrolle el perfil del estudiante ciudadano del mundo, de mente abierta, indagador y que pueda desenvolverse en entornos competitivos. Adicionalmente, permite problematizar la investigación escolar en el marco de la Línea de Investigación de Biodiversidad, Biotecnología y Conservación; aportando así a la discusión sobre inclusión de estas estrategias para la enseñanza de la biología.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Problematizar la incidencia de la investigación escolar en biotecnología para el desarrollo de competencias científicas con estudiantes de grado décimo.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar la incidencia de la investigación escolar sobre el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes.
- Describir el papel de la investigación del maestro con los estudiantes para la transformación de su práctica docente.
- Analizar las implicaciones de la investigación escolar en biotecnología como estrategia didáctica.

4. Antecedentes

4.1 La biotecnología en el campo educativo

4.1.1 Internacionales

Gaetán (2021), en su trabajo de maestría titulado “*Las propuestas educativas para la enseñanza de la biotecnología en la escuela secundaria presentes en los portales educativos de RELPE*”, analiza una serie de propuestas educativas y otras herramientas alojadas en la Red Latinoamericana de Portales Educativos (RELPE), que pueden llegar a ser útiles en la enseñanza de la biotecnología en secundaria con la intención de caracterizar los tipos de contenido, la profundidad con la que se abordan y elementos contextuales con los que se puedan vincular.

La metodología trabajada por la autora consistió en una investigación documental, mediante el análisis de contenido. Se analizaron 23 portales educativos, donde se buscaron recursos y propuestas didácticas para la enseñanza de la biotecnología, teniendo en cuenta los contenidos que son mayormente consultados, así como la profundidad con la que se abordan y el contexto en el que se desarrollan. Se encontraron herramientas tales como animaciones, imágenes, simulaciones, laboratorios virtuales, foros, películas, incluso recursos más tradicionales de lápiz y papel. Respecto a los contenidos que más se consultan resultaron ser aquellos vinculados con la ingeniería genética y las técnicas y procesos asociados.

Así mismo, la autora clasificó el tipo de actividad, los procesos cognitivos y los procedimientos que se requieren para su resolución. Se destaca en el trabajo la importancia del uso de nuevas herramientas y recursos, dados los avances tecnológicos y su relación con una mejora en la eficiencia de la enseñanza al adoptar las TIC y otro tipo de didácticas menos tradicionales, en especial para enseñanza de contenidos contemporáneos como son

los de la biotecnología. Finalmente, las actividades y estrategias didácticas para abordar estos contenidos en su mayoría buscaban desarrollar habilidades en el uso de TICs, trabajo en red y colaborativo, discusión e intercambio entre pares. Se hace relevante destacar que, en el caso del portal colombiano revisado por la autora (Colombia Aprende), reporta que, aunque hay laboratorios virtuales de química y física, no hay recursos disponibles para la enseñanza de la biotecnología.

Concluyendo a partir de los resultados obtenidos, la autora destaca la existencia de una correlación positiva entre la existencia de herramientas y recursos útiles para la enseñanza de la biotecnología, con el nivel de inclusión de esta en el currículo de cada país analizado. Recomienda difundir el uso de las TIC ya que permiten un abordaje dinámico de los contenidos, sobre todo aquellos relacionados con la genética y la manipulación del ADN; así como temáticas controversiales y su percepción desde varios contextos; prediciendo cambios óptimos en los procesos de aprendizaje; así como en el interés de los estudiantes por la asignatura.

Por su lado, De la Vega, *et al.* (2018) indagaron en su artículo "*Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria*" acerca del conocimiento e interés relacionado a la biotecnología con el que finalizan los estudiantes tras culminar su etapa escolar de secundaria en España, contemplando que hoy en día la biotecnología tiene relación directa e indirecta con múltiples aspectos de la vida cotidiana. En el caso de este estudio, debe tenerse presente que la biotecnología ya es una asignatura incluida en el currículo de la enseñanza secundaria obligatoria (ESO).

El estudio se realizó con una muestra de 104 estudiantes de último curso de ESO, quienes diligenciaron un cuestionario de tres partes. En la primera, los autores evaluaron el conocimiento acerca de productos elaborados, o no, mediante procesos biotecnológicos.

Evaluando también procedimientos relacionados tanto con la biotecnología tradicional como la moderna. La segunda parte del sondeo consistió en afirmaciones que debían validarse como verdaderas o falsas, respecto a estos procesos; esto con el fin de identificar preconcepciones de los estudiantes. Finalmente, la última parte se enfocó en la opinión de los alumnos hacia diferentes aplicaciones.

Tras la implementación del instrumento, los autores encontraron que los estudiantes presentaban carencias en conceptos básicos y que, por ejemplo, no relacionaban los procesos de biotecnología tradicional con este término, así como la relación con el uso de microorganismos. Si bien poseen un conocimiento mayor de nociones relacionadas con la biotecnología moderna, se observó que había concepciones previas erróneas no solo de procesos biotecnológicos sino también biológicos; como por ejemplo de la genética, el ADN y su transmisión. Esto pone en evidencia la necesidad de vincular activamente lo trabajado en biología con procesos biotecnológicos de manera transversal.

Los autores concluyeron a partir de sus resultados que, frente a las actitudes de los alumnos, había una influencia de los conocimientos propios de los estudiantes, así como de concepciones generadas en la sociedad y transmitidas en los medios de comunicación. Sin embargo, se presentaban ideas equivocadas acerca de esta disciplina y sus aplicaciones, así como una tendencia al desacuerdo con el uso de esta a medida que aumenta la complejidad biológica del organismo involucrado en el proceso. En este sentido, de la Vega, *et al.*, encontraron en los estudiantes fuertes desacuerdos en el uso de plantas y animales, y aún más en humanos, excepto cuando se abordaban temas relacionados con las mejoras a la salud. Concluyen finalmente que muchos estudiantes no poseen los saberes mínimos para interpretar la información que se difunde sobre la biotecnología en la sociedad actual. Recalcan la necesidad de revisar el currículo y las estrategias de enseñanza frente a la biotecnología.

En adición, Occelli, *et al.* (2018), en el artículo “*La enseñanza de la biotecnología y sus controversias socio-científicas en la escuela secundaria: un estudio en la ciudad de Córdoba (Argentina)*”, realizaron una caracterización de la enseñanza de la biotecnología en escuelas secundarias de Córdoba. Esto con el objetivo de identificar los contenidos enseñados que están relacionados con la biotecnología, así como las estrategias empleadas por los docentes para su enseñanza; más específicamente de aquellos contenidos que puedan resultar controversiales.

La investigación fue realizada en 21 escuelas secundarias públicas que impartieran asignaturas del área de ciencias naturales en los últimos años. La muestra consistió de 21 docentes de biología (1 por institución seleccionada), que orientaran clases en el último año escolar. A estos docentes se les aplicó un cuestionario semiestructurado y se entrevistó a ocho de ellos para profundizar en las estrategias didácticas. Entre los resultados obtenidos, frente al primer objetivo para identificar los contenidos enseñados con mayor frecuencia, se encontró que se trata de aquellos relacionados mayoritariamente con la ingeniería genética y sus aplicaciones. De esto también destacaron que el 62% de los docentes afirmaban requerir capacitación para abordar este tipo de temáticas en el aula. Así mismo, las autoras encontraron que los docentes priorizan el contenido en biotecnología y utilizan el enfoque ciencia, tecnología, sociedad y ambiente para trabajarlos. Esto fundamentado en posibilitar el entendimiento por parte de los estudiantes de la información presentada en los medios de comunicación y en general actuar como consumidores responsables.

Frente a las estrategias de enseñanza de los docentes, encontraron que hay predominancia por las tradicionales, donde el estudiante toma un rol pasivo y receptivo. Sin embargo, también se destacaron en algunos casos estrategias como los trabajos prácticos en laboratorio y discusiones grupales. Puntualmente sobre estrategias para abordar las controversias socio-científicas (csc), se evidencia una tendencia por parte de los docentes

hacia la realización de debates y la indagación bibliográfica. Las autoras reflexionan sobre esta última pues según sus resultados, la forma en la que se orienta esta indagación genera sesgo hacia las diferentes visiones del mundo y por tanto impide estudiar la controversia en sus distintos ámbitos.

En conclusión, el trabajo de investigación brinda información acerca de las prácticas educativas en biotecnología, reconociendo la necesidad de la capacitación docente en estos contenidos, y además la importancia de emplear estrategias que implementen didácticas de las ciencias que permitan una aproximación más dinámica de los estudiantes. A lo largo del artículo, las autoras destacan que en general las temáticas son impartidas desde la tecno-ciencia, pero tienen un alto potencial para contemplarse también desde otros aspectos como son el social, ambiental, ético, económico, entre otros. En este sentido, la enseñanza no solo se puede fundamentar desde el ámbito científico, sino que puede ahondarse en las polémicas éticas, económicas, sociales, ambientales, en fin, dando lugar a una enseñanza interdisciplinar que fomente la participación ciudadana responsable. Finalmente, recomiendan seguir investigando las didácticas empleadas en el aula, así como fortalecer el proceso de formación docente teniendo en cuenta estrategias para la enseñanza tanto de los contenidos de biotecnología, como de las csc que los caracterizan.

4.1.2 Nacionales

Franco (2020) en su artículo *“La biotecnología como estrategia pedagógica en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales en básica secundaria”* realizó una revisión holística para emplear la biotecnología como estrategia de enseñanza y aprendizaje en básica secundaria. Esto con el objetivo de disminuir en el aula la brecha entre educación, tecnología y ambiente mediante el aprender haciendo basándose en modelos por investigación y por miniproyectos.

Para ello, la autora empleó una metodología mixta y una muestra de estudiantes de básica secundaria (sexto a noveno) en Medellín. La investigación inició con un diagnóstico sobre los conocimientos previos de los estudiantes acerca de la biotecnología. También se revisó la malla curricular de la institución, con el fin de identificar los aspectos relacionados con la biotecnología a lo largo de los contenidos enseñados y así poder hacer una modificación que permita integrar no solo contenidos faltantes sino también dieran cuenta de las competencias científicas (cognitivas, procedimentales y actitudinales), y adicionalmente pudieran establecerse relaciones entre ciencias naturales, tecnología y entorno. Finalmente propuso una estrategia didáctica para la implementación de las modificaciones a la malla curricular y que a su vez dinamizaran el proceso y resultaran en experiencias significativas para los estudiantes.

Respecto al diagnóstico realizado, la autora encontró un desconocimiento notable frente a la biotecnología por parte de los estudiantes, dado que solo reconocen las aplicaciones modernas y no las tradicionales. También, evidenció en la revisión de la malla curricular una ausencia de estrategias y didácticas que involucren esta disciplina con los contenidos de las ciencias naturales. Con los resultados obtenidos realizó una propuesta pedagógica para la implementación de modelos de enseñanza basados en investigación y miniproyectos como estrategias didácticas problematizadoras; entorno a una situación propuesta que en este caso fueron las problemáticas causadas por la mala disposición final de la pulpa de café. Permitiendo además del abordaje de contenidos, que la comunidad educativa se integrara activamente dentro y entre instituciones.

También se generaron recursos didácticos, entre los cuales destacaron guías de laboratorio que involucraran temáticas biotecnológicas que los propios estudiantes pudieran llevar a cabo desde la situación problema propuesta. Franco destaca que entre las trabajadas por los estudiantes fueron la elaboración de un bioindicador para medir el pH de

una muestra de pulpa de café, la elaboración de yogurt de café mediante la fermentación láctica y la producción de pectinasas a partir de la pulpa, entre otros. A modo de conclusión, la autora reflexionó en la dinamización del proceso de aprendizaje, así como la disminución de la brecha percibida entre educación, tecnología y entorno mediante la ejecución de los proyectos. Así mismo, se fomentó la participación en semilleros de investigación y participación en eventos de divulgación en ciencias para socializar los resultados de la investigación de los estudiantes.

También, Toro (2019) en su trabajo de maestría titulado *“La experimentación en biotecnología, como estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la química”* presentó el diseño de una estrategia didáctica en la cual se emplearon prácticas de laboratorio de biotecnología como medio para abordar temas característicos de la química y a su vez relacionarlos con aplicaciones de la vida cotidiana, y vincularlos interdisciplinariamente con los procesos biológicos e industriales en los que se pueden encontrar estos procedimientos químicos.

La metodología implementada por la autora fue un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, con el cual buscaba implementar prácticas de laboratorio que abordaran temas de la química tales como separación de mezclas y disoluciones. La muestra empleada fueron estudiantes de grado décimo de una institución educativa ubicada en Pereira, con los cuales desarrolló una prueba diagnóstica de los temas a trabajar para obtener información acerca del estado cognitivo en torno a los conocimientos adquiridos por medio del aprendizaje tradicional y con ello diseñar las estrategias a emplear en las siguientes fases.

Los resultados arrojados por estas pruebas mostraron que el desempeño de los estudiantes se encontraba en los niveles bajo y básico, denotando puntualmente debilidades en los temas de disoluciones y separación de mezclas. Los datos obtenidos en

esa primera fase se utilizaron como insumo para el diseño de las prácticas experimentales de biotecnología, entre las cuales se encontraban la fermentación alcohólica de cáscaras de naranja, desde la cual se buscó abordar las temáticas de preparación de disoluciones y separación por destilación. Adicional a abordar estos contenidos, Toro destacó la ventaja de emplear estas pedagogías activas como escenarios donde los estudiantes exploraban problemáticas cotidianas que les permitían generar explicaciones y reflexiones de manera autónoma.

Una vez implementadas las prácticas propuestas, se generó una nueva prueba para corroborar los conocimientos adquiridos mediante la estrategia didáctica. La autora evidenció un avance en la apropiación de los conceptos de química mediante las prácticas en biotecnología al obtenerse mejores resultados en las pruebas estandarizadas aplicadas a los estudiantes y en las prácticas de laboratorio, además, se obtuvo un progreso sustancial en el desempeño (más estudiantes con desempeño alto) y en el aprendizaje significativo.

A modo de conclusión, la autora atribuyó la mejora en el desempeño de los estudiantes principalmente a la posibilidad de contextualizar en la vida cotidiana los conceptos y técnicas trabajadas en clase mediante la biotecnología. Y enfatizó en la necesidad de actividades prácticas pues contribuyen al aprendizaje significativo y motiva a los estudiantes a indagar sobre las problemáticas propuestas en clase.

Por otro lado, Bedoya (2016) en su trabajo de maestría *“Diseño de una estrategia didáctica basada en la programación de juegos, utilizando herramientas ofimáticas para la enseñanza de conceptos de biotecnología y el desarrollo de competencias comunicativas”* desarrolló una estrategia pedagógica que permitiera transversalizar contenidos en ciencias naturales y tecnología, y que además potencializara las competencias comunicativas de los estudiantes. Para ello, se valió de herramientas ofimáticas para la creación de juegos con

temáticas de biotecnología, lo que permitiría a los estudiantes un aprendizaje significativo al desarrollarlos. Al trabajar con estudiantes que hasta el momento de la investigación tenían desempeño bajo en asignaturas como ciencias naturales, se trabajó para mejorarlo tras cambiar la didáctica de enseñanza al diseño e implementación de juegos de biotecnología.

El trabajo se fundamentó en el paradigma crítico-social, donde a partir de la observación de cómo ocurre el aprendizaje y la forma como se trabajan los conceptos (de biotecnología en este caso), se planteó una estrategia didáctica que permita involucrar activamente a los estudiantes y puedan crearse nuevos ambientes de aprendizaje. El trabajo se realizó con estudiantes de grado noveno de una institución educativa en Medellín en quienes se buscó potenciar, a partir del trabajo colaborativo, las competencias científicas y comunicativas. La propuesta de estrategia didáctica se abordó desde un enfoque inductivo de acción pedagógica, así pues, se intervinieron dos grupos de estudiantes: El grupo experimental, quienes programaron los juegos ofimáticos y su práctica lúdica; y el grupo control quien llevaría a cabo la estrategia de aprendizaje mediante la práctica de los juegos además del trabajo normal de clase.

Con respecto a los resultados, si bien no se encontraron diferencias significativas entre los grupos respecto a los conocimientos específicos de la biotecnología, si evidenció una mejoría en el rendimiento académico y disposición general en el grupo experimental. Además, se potenciaron competencias científicas procedimentales y actitudinales en mayor medida, y en general las habilidades básicas para desempeñarse en las asignaturas de ciencias naturales. Así mismo, la tasa de reprobación de las asignaturas disminuyó considerablemente tras implementar las estrategias propuestas. Para concluir, la autora destaca este tipo de estrategias frente a la necesidad de implementar actividades prácticas en caso que algún factor externo dificulte el llevar a cabo experimentación en el aula, como

en el caso de la población trabajada por la autora, quienes no tenían un acceso adecuado a recursos pedagógicos ni laboratorios. Esto debido a que, si bien no aumentó el conocimiento de conceptos biotecnológicos, si se desarrolló la creatividad, el trabajo colaborativo, así como la capacidad de comprensión e interpretación de los estudiantes.

4.1.3 Locales

González (2024b) en su artículo *“Una experiencia educativa desde la enseñanza de la biotecnología en educación media”* explora la implementación de un modelo de investigación escolar en educación media para dar cuenta del proceso de enseñanza-aprendizaje de la biotecnología por medio de actividades realizadas por los estudiantes en el marco del desarrollo de proyectos de investigación en los que se evidencie la importancia y aplicación de la biotecnología.

La autora realiza su investigación en la Institución Educativa Distrital San José Sur Oriental, ubicada en Bogotá, implementando la metodología de investigación-acción en la cual se identifican los cuatro momentos que la caracterizan; iniciando por la planeación en la cual se genera un diagnóstico para comprender la realidad educativa en el marco de la biotecnología, en la acción genera respuesta y estrategias para las dificultades encontradas. Seguidamente la observación y reflexión donde da cuenta del proceso al modelo de investigación escolar. Dentro de las actividades propuestas en el marco de los proyectos de investigación, los estudiantes desarrollaron talleres de aplicación institucional donde buscaban involucrar a la comunidad educativa y acercarla a la biotecnología desde las temáticas enmarcadas en su investigación. En el desarrollo del proyecto por parte de los estudiantes se incluyeron revisiones documentales, visitas a expertos, desarrollo y presentación de productos.

En su investigación, González reflexiona sobre la enseñanza de la biotecnología en contexto, en proyectos que permitan no solo estudiar los conceptos propios de la disciplina sino también evaluar su dimensión económica, social, cultural, etc. De igual modo, las visitas a expertos y a espacios donde los estudiantes puedan ver actividades relacionadas con la biotecnología de primera mano, permiten que el aprendizaje experiencial sea significativo y enriquezca el desarrollo de los proyectos ejecutados por los estudiantes. Así mismo, la autora también destaca de su investigación la oportunidad de reflexionar sobre la práctica pedagógica, destacando la importancia de la actualización constante por parte del docente para lograr ese proceso de enseñanza y aprendizaje conscientes.

Como conclusión, se resalta la importancia del acompañamiento docente continuo a la investigación llevada a cabo por los estudiantes, donde hace énfasis en la relación del conocimiento profesional con la formación de jóvenes críticos a través de proyectos de investigación en biotecnología, como medio de enseñanza-aprendizaje, innovación y resolución de problemas. La autora también reflexionó sobre la metodología trabajada como una favorable para promover la enseñanza de procedimientos científicos, el abordaje de problemáticas didácticas y una alternativa para generar cambios sustanciales en la práctica docente.

Además, Espinel (2020) en su tesis doctoral "*Conocimientos sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de dos profesores de Bogotá: Un estudio de caso múltiple*" caracterizó el conocimiento sobre biotecnología y el conocimiento didáctico del contenido (CDC) de dos profesores en Bogotá que enseñan en nivel de educación media. Esta caracterización se hizo con el propósito de establecer relaciones entre ambos conocimientos y de esta manera determinar aquellas que limiten o potencien la enseñanza de la biotecnología. Esto con el fin de atender a uno de los grandes desafíos de la escuela, frente a la necesidad de brindar las herramientas necesarias para comprender fenómenos

biotecnológicos, pero también de contribuir a la toma de una postura crítica e informada frente a las implicaciones biotecnológicas en todos los campos. Las relaciones establecidas y reconocidas entre los dos conocimientos pretenderían ser un aporte para enriquecer las propuestas curriculares en pos de la formación ciudadana del país.

La metodología empleada por la autora se enmarcó dentro del paradigma interpretativo, donde se desarrolló un estudio de caso múltiple, con dos casos individuales de docentes del sector oficial de Bogotá. Para la investigación, se indagó sobre la estructura del CDC y del conocimiento en biotecnología de ambos docentes, entendiéndolos tanto como casos individuales como parte de un colectivo (la autora resalta que en la investigación se pretende solo realizar una caracterización, más no plantear generalizaciones frente al conocimiento en biotecnología). Esta información fue obtenida a partir de cuestionarios y observaciones de clase, mediante los cuales se pudo además indagar en el conocimiento de los estudiantes, las estrategias de enseñanza, la evaluación de los contenidos, entre otros aspectos que permitirían comprender mejor estos conocimientos en el marco del desarrollo de la investigación.

Entre los resultados presentados por Espinel, destaca la relación presentada entre el conocimiento de los maestros sobre las estrategias y metodologías que emplean en la enseñanza de la biotecnología; donde no solo es cuestión del conocimiento de los conceptos clave sino además el conocimiento sobre el contexto en el que enseñan, así como el de la biotecnología en la sociedad y en otros campos. De modo que las prácticas llevadas a cabo por los docentes se ven permeadas por aspectos más allá de lo meramente conceptual. Asimismo, se reconoce el impacto del conocimiento propio de los estudiantes, sus preconcepciones y referentes, por lo cual también se propone el incluir estos dentro de los procesos de enseñanza, de modo que las estrategias diseñadas favorezcan el despertar la motivación e interés para potencializar su aprendizaje.

A modo de conclusión, se identificaron las ventajas de incorporar la biotecnología en el currículo, tales como el fortalecimiento de la toma de posturas críticas por parte de los estudiantes frente a los diversos avances en ciencia, la comprensión de procesos y aplicaciones de la biotecnología y un reconocimiento de estas en su cotidianidad. Respecto al quehacer docente, menciona que el CDC es relativo a cada docente ya que es un tópico personal y específico, característico de cada uno. Frente al conocimiento puntual en la biotecnología, la autora reconoce que no se logra distinguir con claridad las creencias de los profesores de su conocimiento. Sin embargo, la relación entre estos dos permite tener un insumo frente a la formación docente como a la construcción del currículo respecto a la inclusión de la biotecnología en la escuela.

En adición, Villalobos (2018) en su trabajo de grado "*Diseño y aplicación de un módulo de Biotecnología como alternativa transversal de enseñanza en estudiantes de ciclo V y VI de Educación Media Vocacional*" tuvo como objetivo el desarrollo, implementación y retroalimentación de un módulo para la enseñanza de la biotecnología abordada de manera transversal en las asignaturas de química, sociales y lengua castellana. Esto con el fin de lograr una visión global de los procesos biotecnológicos, desde las perspectivas científica, social, ética, económica, entre otras.

El diseño metodológico empleado fue de carácter cuanti-cualitativo, evaluando el proceso en los dos últimos ciclos de formación del bachillerato en una institución educativa en Bogotá. Inicialmente para la investigación se realizaron encuestas para un diagnóstico de preconcepciones tanto a docentes de las áreas relacionadas con el módulo, como a estudiantes. Se abordaron temáticas como el concepto de biotecnología, la pertinencia de su enseñanza y prácticas, y aplicaciones relacionadas con esta disciplina. Acorde a estos resultados, se realizó el diseño e implementación del módulo, en el cual se incluirían temáticas relacionadas con la biotecnología tradicional y moderna, así como la

microbiología y otras aplicaciones, todo de manera transversal y distribuido en cuatro momentos del módulo para cada asignatura relacionada. Finalmente, se aplicó una segunda encuesta al terminar el módulo para conocer el nivel de entendimiento de los conceptos trabajados en el mismo tanto de docentes como de estudiantes. Con los resultados se realizó una triangulación donde se evaluó las respuestas dadas antes, durante y después de la implementación del módulo.

Los resultados del test inicial arrojaron que, por parte de los estudiantes, había una noción mínima sobre la existencia de técnicas de manipulación genética pero que no percibían la biotecnología como algo asociado a ellos y en gran medida tampoco reconocían como esta se interrelaciona con su vida cotidiana. En el caso de los maestros, se observó una disposición inicial positiva hacia la implementación del módulo, como una oportunidad de lograr un aprendizaje transversalizado. Los test aplicados durante y después de finalizar el módulo evidenciaron apropiación de los conceptos de biotecnología por parte de los estudiantes, así como un reconocimiento de la biotecnología en su vida cotidiana, cambiando la percepción previa de esta disciplina como una ciencia distante de sus realidades. Mientras que para los docentes se dio cuenta de su postura favorable frente a la implementación de los módulos transversales, considerándolos pertinentes a pesar de las dificultades logísticas asociadas a ello.

Para concluir, la autora destacó la concepción generada en los estudiantes frente la importancia del desarrollo de la biotecnología en el país, así como de promover la investigación como una forma de potenciar la economía. La aplicación del módulo permitió fomentar en los estudiantes un panorama más amplio frente a temas de biotecnología, en especial aplicaciones contemporáneas. Frente a los docentes, los resultados permitieron ver que tenían una postura favorable frente a la enseñanza transversal, reconociendo su potencial académico, pero así mismo la dificultad de incluir estas temáticas en los currículos

de todas las asignaturas involucradas en el módulo. Se propuso una revisión del plan de estudios y la integración de la enseñanza teórico-práctica en todos los niveles de educación.

Los antecedentes presentados aportan a la investigación al dar una noción frente a la disponibilidad actual de recursos y herramientas para la enseñanza de la biotecnología, sobre la necesidad de reformular las estrategias que se utilizan para ello y la conexión que se da con contenidos en biología en el currículo. En varios de estos se destacan pedagogías activas y realizadas desde la investigación por parte de los estudiantes, así como la puesta en práctica de proyectos experimentales o módulos, dando cuenta de los resultados positivos en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. También mediante estas estrategias, se dio la noción de la ventaja de contextualizar y transversalizar la enseñanza de la biotecnología para dar un panorama más amplio a los temas abordados.

Así mismo, los antecedentes trabajados permiten entrever las ventajas que trae la enseñanza de la biotecnología en el aula como favorecer el aprendizaje contextualizado de contenidos de ciencias naturales, el desarrollo del pensamiento crítico, el trabajo colaborativo, el trabajo interdisciplinar con otras asignaturas y la integración de la comunidad educativa, entre muchas otras. Además, destacan que abordar la biotecnología en el aula permite estimular la curiosidad y la motivación, y que en algunos casos incluso tienen impacto positivo en el desempeño académico de los estudiantes.

4.2 La investigación educativa y escolar en el aula

4.2.1 Internacionales

Barragán y González (2020) en su artículo "*El papel e importancia de la investigación educativa*" resaltan el impacto e implicaciones de la investigación en la labor educativa, para destacar el papel que esta ha tenido frente al quehacer docente y sus cambios a través del tiempo. Así mismo, presentan referentes que permiten evidenciar el rigor que ha adquirido

la investigación educativa en respuesta a la necesidad de formar investigadores adecuadamente.

Los autores realizan una revisión documental, en la cual destacan cómo la investigación educativa ha estado enfocada hacia los procesos administrativos más que hacia el desarrollo de nuevas estrategias que enriquezcan la labor en el aula, en especial para las múltiples dimensiones del quehacer docente como por ejemplo las relaciones con sus pares y su trabajo con el alumnado. De su revisión también se destaca que gran parte de la investigación resulta ser de tipo teórico a partir de las experiencias en el aula, pero con poca aplicabilidad o utilidad práctica. Además, discuten sobre la habilidad del docente como investigador, y la gran necesidad de fortalecer estas habilidades y conocimientos con el fin de hacer mejores investigaciones en el aula.

Los autores concluyen que a través de los años se encuentran pocas investigaciones que no solo trabajen sobre lo que ocurre en el aula y las instituciones, sino que además sean útiles cuando se trata de tomar decisiones e implementar estrategias en consecuencia de lo encontrado en la investigación educativa. También, resaltan la importancia de que se responda a las necesidades acorde a la realidad y contexto como parte de la gestión y liderazgo educativos; destacando las cualidades del docente y su relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Por otro lado, Moya, *et al.* (2011) en su artículo "*La investigación dirigida como un método alternativo en la enseñanza de las ciencias*" analizan la estrategia mediante una revisión histórica, además de su pertinencia en el aula de ciencias, teniendo presente el necesario distanciamiento con la educación bancaria y la formación de ciudadanos con habilidades para la resolución de problemas de su propio contexto.

En la revisión realizada, se destaca la transición de la enseñanza de una ciencia positivista a una de corte humanista, donde no solo se tienen presentes los conocimientos que anteriormente debían memorizarse, sino que se enfoca en las competencias ciudadanas donde se construye colectivamente el conocimiento y se desarrolla la capacidad de toma de decisiones informadas. Dentro de esta transición, los autores presentan la investigación dirigida como estrategia para lograr los objetivos planteados; gracias a la naturaleza colaborativa de esta, donde los estudiantes contrastan sus ideas entre pares, con los maestros, científicos o mediante la revisión documental. Formando así un ser social con valores y conocimientos.

Así como los autores reflejan las ventajas, también presentan los retos para su implementación en el aula, empezando porque actualmente allí existe una gran brecha entre las metodologías de enseñanza y aprendizaje, y el cómo se produce el conocimiento. A esta necesidad, responden con la investigación dirigida puesto que permite el planteamiento de preguntas de interés para los estudiantes y su la resolución mediante el método científico, abordando así las prácticas típicas del quehacer científico. También, se resalta que, al ser un proceso dirigido, no se deja a los estudiantes investigar “solos”, sino que se resignifica la presencia del maestro a quien guía y orienta tanto la adquisición de nuevos conocimientos como el acercamiento a los previos que ya tenía el estudiante, así como a los valores intrínsecos de la ciencia.

Para concluir, reconocen la investigación dirigida como una metodología valiosa y versátil en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, donde al romper con los esquemas tradicionales, se puede no solo enseñar contenidos, sino que también generar pasión por la ciencia y el deseo de continuar realizando proyectos de investigación para explicar los fenómenos presentes en el día a día de los estudiantes. Por otra parte, concluyen tras su revisión que en muchos casos la efectividad de esta estrategia recae en

el tiempo que pueda otorgarse para la planeación y desarrollo, donde se requerirá también gran creatividad del maestro puesto que debe realizarse acorde al contexto. Con esto presente, podrán enseñarse conocimientos científicos relacionados a los contextos, permitiendo la resolución autónoma de problemas mediante las habilidades desarrolladas.

Añadiendo a lo anterior, Cano (2009) en su artículo "*La investigación escolar: un asunto de enseñanza y aprendizaje en la Educación Secundaria*" presenta herramientas para la implementación de procesos de investigación escolar, reconociendo la importancia de generar conocimiento significativo en los estudiantes a lo largo de la propuesta. Se parte desde el precepto que la forma en la que esta se percibe difiere entre estudiantes y profesores, en especial cuando estos primeros tienen una concepción más arraigada en la escuela tradicional. Esto hace que implementarla en el aula se convierta no solo en una metodología sino un objeto de estudio en sí misma. De esta forma, se pretende enseñar a través de la investigación, así como también el cómo investigar.

Así las cosas, se proponen estrategias didácticas teniendo presente que el proceso de enseñanza de la investigación también debe abordar las dificultades frente al procedimiento en sí, y por tanto dichas estrategias deben abordar tanto las dificultades procedimentales de la práctica misma, pero también actitudinales, teniendo en cuenta la formación más tradicional. Se resalta la importancia de la reflexión a lo largo del proceso de construcción de conocimiento, no solo para llevar a los estudiantes a través de las distintas etapas, sino a su vez transformar actitudes y comportamientos que puedan obstaculizar el proceso.

Frente a la propuesta de la autora, trabaja estudios de caso que se abordan desde el conocimiento estratégico; o aquel relacionado con la capacidad de escoger un determinado procedimiento (por qué se escoge, cómo se aplica, si es viable, etc.), y el conocimiento relacionado con las destrezas de investigación y comunicación. Con esto,

propone hipótesis de progresión para analizar la evolución y dificultades a las que se puedan enfrentar los estudiantes frente al desarrollo de estrategias y habilidades relacionadas con los conocimientos mencionados.

Concluye la autora destacando la importancia de: compartir el control del proceso con los estudiantes, organizar los contenidos de modo que sean problemas socioambientales contextualizados y cotidianos para el alumno, la realización de investigaciones concretas que permitan la enseñanza del como investigar y a su vez esto sea una estrategia para construir conocimiento, la participación del maestro como un orientador clave en la evolución del proceso del estudiante y favorecer los espacios de comunicación a través de informes, charlas, ferias de la ciencia, y otros espacios de divulgación que permitan fortalecer también las habilidades comunicativas.

4.2.2 Nacionales

Narvárez y Gutiérrez (2023) en su artículo "*Investigación escolar: Fomento de iniciación científica, resolución de problemas y pensamiento crítico*" estudian la pertinencia de los proyectos de investigación en currículos transversales para el fortalecimiento de habilidades científicas; teniendo presente la importancia de estas en la formación de individuos que puedan ser partícipes activos de la sociedad contemporánea y futura.

Para este fin, la metodología empleada correspondió con el estudio de casos múltiples desde un enfoque cualitativo, donde se trabajó con varias instituciones educativas públicas de Medellín, siendo estas las unidades de análisis del estudio. Para ello, se emplearon entrevistas semiestructuradas realizadas a estudiantes, docentes y directivos; así como una revisión de documentos institucionales tales como planes de asignatura y proyectos de investigación realizados por estudiantes. De esto, los autores encontraron que, en las instituciones con más integración de parte de docentes de diferentes áreas al

desarrollo de los proyectos, tenían resultados más favorables. Pese a esto, se reconoce la dificultad de integrar la investigación al currículo, por lo cual las directivas de las instituciones lo han realizado de manera progresiva.

Los autores también destacan la importancia de que estos procesos se realicen desde todos los niveles educativos, dado que se favorece el desarrollo de las habilidades investigativas; contrario a estudiantes que han pasado gran parte de su proceso educativo bajo modelos tradicionales y que por tanto tienen más dificultad para alcanzar las competencias científicas. Así mismo, estos ajustes posibilitan el uso de estrategias encaminadas al desarrollo de las competencias mencionadas y de actitudes positivas hacia esta desde temprana edad. Respecto a las estrategias empleadas por las instituciones estudiadas, se encontraron la participación en programas que promueven la investigación, la creación de material de apoyo para los integrantes de la comunidad, la divulgación de los proyectos elaborados y su transversalización.

De esta revisión, se concluye que los procesos de investigación constantemente exigen al estudiante el uso de su capacidad crítica para analizar situaciones y tomar decisiones, lo que impacta directamente en el desarrollo del pensamiento crítico. De esta misma forma, se encontró la importancia de socializar los trabajos con los pares, pues se fomenta la lectura crítica y reflexiva frente al trabajo de los compañeros. De la mano de esta habilidad, se encuentra el desarrollo de la resolución de problemas, donde se fomenta en los estudiantes el trabajo colaborativo, la innovación y la creatividad. En este caso, los autores pueden dar cuenta que no solo se están desarrollando habilidades asociadas a lo cognitivo, sino que también las sociales y comunicativas tienen lugar al llevarse a cabo los proyectos de investigación. Cabe mencionar que los estudiantes de las instituciones involucradas en el estudio manifestaban disfrutar de los espacios donde podían dar a

conocer sus puntos de vista y encontrar por sí mismos las respuestas a las problemáticas planteadas.

Además, Luján y Londoño (2020) en su artículo "*La investigación escolar en educación básica para el desarrollo de competencias científicas en docentes*" revisan como los docentes pueden desarrollar y fortalecer habilidades como la indagación y el pensamiento crítico mediante estrategias tales como la investigación en el aula. Esto debido a la reflexión y la actitud crítica del docente frente a su propia práctica.

Los autores presentan la investigación escolar como una estrategia metodológica y didáctica, y en este sentido cobra significado tanto en lo teórico como en lo práctico; de modo que el proceso de enseñanza sea contextualizado y significativo. Así las cosas, se hace una revisión para el quehacer del maestro contemplando la capacidad de impactar en el aprendizaje más allá de los contenidos y el currículo, sino más bien que permita un acercamiento a las realidades sociales y culturales de los estudiantes. De este modo, se da el desarrollo de competencias científicas y aptitudes que permitan a los jóvenes ser ciudadanos participativos y críticos.

Dentro de la propuesta presentada, se resalta la necesidad de cambiar paradigmas actuales frente a la investigación en la escuela, tanto frente a las metodologías tradicionales que se han arraigado frente a esta, como el papel del docente que acompaña la investigación. Esto aplica al investigar su propia labor, pero también frente a las reflexiones que surgen del acompañamiento a los estudiantes para potenciar el desarrollo de las competencias científicas en todos sus ámbitos, buscando favorecer el pensar por sí mismo por encima de modelos tradicionales arraigados en contenidos preestablecidos.

A modo de conclusión, los autores destacan la importancia del desarrollo de las competencias en los docentes como una estrategia para proponer espacios propicios para

el desarrollo de estas en los estudiantes. Destacan que no solo se requiere el dominio sobre los contenidos, sino que el maestro también debe tener una capacidad pedagógica y didáctica que, a través de la reflexión, las experiencias en el aula y las habilidades comunicativas permitan potenciar el trabajo en equipo para poder lograr la resolución de problemas tanto frente a la desmitificación de la investigación escolar, como en la orientación de la indagación por parte de los estudiantes.

También, Palencia (2020) en su artículo "*La investigación en la práctica educativa de los docentes*" reflexiona acerca de la investigación como parte importante en la práctica del maestro, discutiendo acerca de los diferentes tipos de investigación que puede realizarse el docente en su aula, evaluando los beneficios que estas traen a la hora de consolidar habilidades para transformar el quehacer y la realidad educativa del maestro. Esto con el objetivo de destacar la importancia de la formación inicial del docente en investigación, para formar profesionales con la capacidad de mejorar constantemente su práctica en el aula.

Entre las metodologías destacadas por la autora en su revisión se encuentran la investigación-acción participativa, resaltando también la investigación etnográfica, los estudios de caso y la investigación narrativa, por mencionar algunos ejemplos. Todas estas metodologías propenden el generar procesos de investigación individual o colaborativa sobre la propia práctica o sobre el desempeño de los estudiantes, en aras de contribuir al desarrollo profesional del docente. Así mismo, destaca tres tipos de investigación que puede realizar el maestro a modo de una indagación tanto consciente como estructurada para lograr los objetivos previamente mencionados.

El primer tipo de investigación mencionado por la autora es la realizada por los docentes con los estudiantes, donde de manera colaborativa se construye conocimiento y se fomenta el aprendizaje activo mediante la indagación para dar resolución a un problema

planteado desde la cotidianidad del estudiante y guiado por el docente. Para el segundo tipo de investigación, se trabaja la investigación del docente sobre sí mismo y su práctica, esto en aras de la transformación de esta mediante una indagación introspectiva que permita adoptar una postura reflexiva y crítica hacia la propia labor. En este caso los problemas a resolver nacen del contexto educativo donde se busca actuar de un modo más acertado acorde a las necesidades evidenciadas. Finalmente, el tercer tipo se enfoca en la investigación sobre los estudiantes, que en este caso va dirigida hacia la mejora de los procesos académicos por medio de la identificación de los problemas en los procesos de aprendizaje. El objetivo en este escenario será problematizar el aprendizaje de los estudiantes y por medio de ello obtener herramientas para mejorar el rendimiento académico, que a su vez permitirá al maestro aprender sobre su propia práctica educativa e identificar experiencias exitosas de enseñanza.

Para concluir, la autora menciona la importancia que la investigación escolar ha cobrado a través del tiempo, en especial al requerirse del maestro que se aborden de manera adecuada las problemáticas que surgen en el aula, así como la atención a las necesidades académicas para contribuir a la mejora de la calidad educativa. Todo esto enmarcado en los procesos de indagación y reflexión para ajustar y mejorar la práctica docente acorde a lo evidenciado a partir de las diferentes metodologías que se pueden llevar en el aula. Así mismo, se destaca la importancia de garantizar el espacio y el tiempo para que los profesionales puedan llevar a cabo estos proyectos tanto individual como colaborativamente.

4.2.3 Locales

Gómez (2021) en su artículo “Relato sobre estrategias de enseñanza para desarrollar habilidades de pensamiento y educar en valores” presenta un estudio de caso donde a partir de una de las estrategias se implementó un proyecto de investigación escolar

con el objetivo de desarrollar habilidades de pensamiento y valores relacionados con la ciencia. Se resalta el uso de esta estrategia de enseñanza a lo largo de varias fases propuestas por la autora en el marco del trabajo desarrollado.

La autora empleó la metodología de investigación-acción, en la cual se realizó un análisis y reflexión constante sobre el proceso de los estudiantes a lo largo de las diferentes etapas propuestas además de las fases intrínsecas a la metodología (planeación, acción, observación y reflexión); cuyos resultados fueron revisados y las estrategias ajustadas acorde a lo evidenciado frente al proceso de los estudiantes. Esto con el objetivo de poder atender sus necesidades de aprendizaje a lo largo del desarrollo del proceso, permitiendo también emplear las estrategias más adecuadas para fortalecer las habilidades tanto de procesos básicos como de procesos superiores. Se hizo énfasis en estos últimos, puesto que mediante ellos se construye el conocimiento y permite acercarse al objetivo de la investigación escolar al consolidar el aprendizaje de conceptos y habilidades científicas.

A lo largo de las etapas del proyecto de investigación, Gómez da cuenta de los acercamientos por parte de los estudiantes al conocimiento científico, pero a su vez destaca que el aprendizaje también se vio enmarcado en el reconocimiento de los valores intrínsecos de la ciencia. Lo cual fue llevando a los estudiantes a la capacidad de integrar posturas críticas sobre la ciencia con los impactos e implicaciones de esta en la dimensión social. Así mismo, la autora concluye que, a lo largo del desarrollo de las fases, se podía evidenciar el fortalecimiento de habilidades como el razonamiento, la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la creatividad; las cuales están asociadas con las competencias científicas y las habilidades cognitivas, procedimentales y actitudinales.

En adición, Ceballos (2018) en su trabajo de maestría titulado "*La investigación escolar soportada en la ciencia ficción para la enseñanza-aprendizaje de genética*" propone este modelo en respuesta a los retos contemporáneos en la enseñanza de la biología,

reconociendo la necesidad de despertar el interés por el aprendizaje en los estudiantes e innovar en los métodos de enseñanza para generar un aprendizaje significativo. Esto con el objetivo de estudiar la pertinencia de la investigación escolar como estrategia didáctica en la enseñanza de las ciencias.

En cuanto a la metodología empleada, se trabajó con el modelo de investigación-acción, planteando tres ciclos de acción reflexiva donde cada ciclo se compone de las fases de planificación, acción, observación y reflexión. Teniendo presente que estos ciclos se trabajan como bucles en los cuales la evaluación de una acción a partir de la reflexión resulta en los insumos para la planificación del siguiente ciclo. Para este trabajo, el autor empleó un primer ciclo de contextualización, un siguiente ciclo donde se trabajó una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética, y un último ciclo donde se llevó a cabo el diseño metodológico de las preguntas de investigación de los estudiantes.

A través de esta metodología, Ceballos destacó el papel de la ciencia ficción en la contextualización de la genética, no por el contenido en sí, sino por las implicaciones biológicas, los debates éticos y la asociación de situaciones a su propio contexto que se suscitaron a través de los contenidos de las obras trabajadas. Así mismo, detalló la importancia de vincular los temas que generan interés y preguntas en los estudiantes, con los fenómenos y situaciones del mundo natural y social; lo que permitió que se plantearan preguntas de investigación desde la curiosidad de los estudiantes, pero también desde una postura crítica gracias a los conocimientos previos. Frente a la implementación de la investigación escolar, el autor reflexionó sobre la necesidad de cambiar la organización de la clase, lo que incluye a su vez los papeles que tradicionalmente tienen el docente y los estudiantes, pasando estos últimos a posturas más activas y dinámicas sobre su propio proceso de aprendizaje. Destacó además la importancia del trabajo conjunto de los actores

en el aula para el diseño de las estrategias necesarias para dar respuesta a las preguntas problema.

De este proceso, el autor concluye que la implementación de la investigación escolar permitió romper los previos esquemas de pensamiento de los estudiantes, generando relaciones entre los aspectos teóricos y prácticos de la genética a través del desarrollo de los proyectos propuestos. En este proceso, se da cuenta del papel activo del estudiante, quien busca responder a las inquietudes y preguntas que se han planteado, revisando las concepciones previas a partir de las experiencias y los saberes que dialogan entre los resultados obtenidos y las orientaciones del docente.

En adición, García y Ladino (2008) en su artículo "*Desarrollo de competencias científicas a través de una estrategia de enseñanza y aprendizaje por investigación*" presentan el modelo de aprendizaje por investigación como estrategia para aproximar a los estudiantes al conocimiento científico y potenciar el desarrollo de las competencias científicas. Esto mediante el planteamiento de orientaciones que permitan no solo proponer estrategias puntuales para llevarla a cabo en el aula, sino también cómo enfocar esos procesos de enseñanza y aprendizaje de modo que se puedan integrar las dimensiones del aprendizaje y se pueda fomentar la autonomía, la creatividad y la curiosidad por el aprender.

Para evidenciar el desarrollo de las competencias científicas, los autores plantearon su propuesta en el marco del modelo conocido como enseñanza y aprendizaje por investigación. Esta pretende que mediante el proyecto ejecutado se desarrollen las competencias, al estar los estudiantes enfrentados a situaciones relacionadas con el quehacer científico, teniendo la oportunidad de entender cómo se hace este tipo de proceso y de adquirir las habilidades, capacidades y actitudes requeridas para ello. Entre la estrategia presentada se contempla su inclusión en el currículo, que para el caso del artículo se llevaron a cabo como proyectos institucionales desarrollados por grupos de grado 11.

También se propuso el trabajo por fases delimitadas: planeación, diagnóstico, transición, ejecución y evaluación; a través de las cuales se determinaron el cronograma, los conocimientos y habilidades previas, los requerimientos que se tenían para iniciar la investigación, el desarrollo de la misma y finalmente la socialización y evaluación del proyecto.

Los autores evidenciaron que la forma en la que estos proyectos de investigación en el aula permiten a los estudiantes acercarse al cómo piensan y trabajan los científicos, favorecen el desarrollo de las competencias científicas al aproximarles a problemáticas contextualizadas y les permitan hacer uso de estas habilidades (conceptuales, metodológicas y actitudinales) para resolverlas. Así mismo, destacan la importancia del rol del maestro frente al acompañamiento en estos proyectos de aula, pero así mismo frente a la versatilidad y conocimiento que debe tener no solo de la ciencia que enseña, sino también de la didáctica y la epistemología necesaria para implementar estos proyectos en el ámbito escolar.

Finalmente, concluyen que el rol del maestro al proponer y ejecutar esta estrategia es esencial para que esto ocurra de manera contextualizada y aplicada a la realidad de los estudiantes, de modo que se aborden todas las dimensiones posibles de la ciencia. De esta forma, se espera que se aproximen a la resolución de problemas con acciones concretas a partir de las habilidades desarrolladas, y que estas puedan ser empleadas en el futuro en su etapa universitaria.

Los antecedentes presentados aportan al presente trabajo al poner en evidencia la necesidad de integrar lo teórico y lo práctico en el aula en aras del desarrollo y fortalecimiento de las competencias y habilidades tanto en estudiantes como en maestros. En el caso de los estudiantes se evidenció que había una relación intrínseca entre la investigación escolar y el desarrollo de habilidades o competencias que permiten no solo

potenciar las capacidades cognitivas, sino que también apuntan a las procedimentales y actitudinales, e incluso otras que impactan en las habilidades para la vida.

De igual modo, en el caso del maestro se destacó el rol de la reflexión sobre la práctica y el quehacer como forma de enriquecer y mejorar los procesos de aprendizaje y enseñanza orientados desde el aula. La investigación educativa permite no solo analizar la pertinencia de un currículo sino desarrollar las propias habilidades del maestro, para que estas a su vez influyan en la transformación constante de su práctica. Finalmente, se abordó un tercer escenario que abre la posibilidad del trabajo del maestro con los estudiantes, donde además de llevar los procesos descritos anteriormente, también se da un espacio de investigación en doble vía y que enriquece las competencias de ambas partes.

5. Marco referencial

5.1 La biotecnología en el campo educativo

La biotecnología se ha convertido en uno de los campos relacionados con la ciencia que se encuentran en constante crecimiento y desarrollo. Tanto así que ha pasado a ser un tópico recurrente en contextos tanto científicos como no científicos; al punto que han surgido diferentes concepciones de esta en respuesta a la época, el entorno, el contexto y las necesidades de las personas. Debido a ello, no existe un consenso frente a la definición de “biotecnología”, lo que ha generado polémica alrededor del mismo; dado que su polisemia depende de los varios contextos en los cuáles se ha usado a lo largo del tiempo. Así mismo, depende de quién interprete el concepto, no solo desde su conocimiento académico, sino que se entenderá también desde su contexto social, político, económico, cultural, etc. (Roa, *et al.*, 2019).

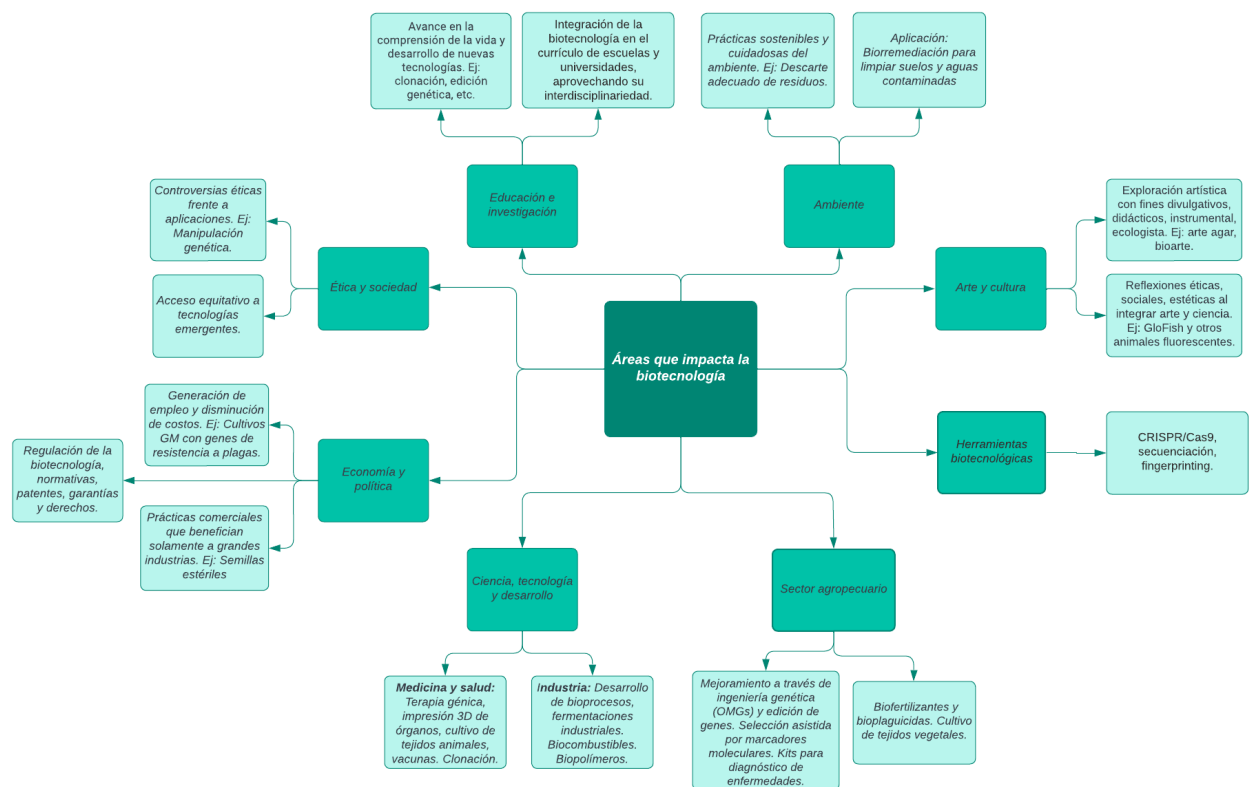
Si busca definirse la biotecnología desde un ámbito generalizado, en aras de hablar un lenguaje común, puede abordarse la definición propuesta desde el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992) donde se estableció como: “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (p. 3). Esta definición ha sido empleada por diversas entidades para abordar lo que significa la biotecnología, haciendo un énfasis en las técnicas y aplicaciones, dando así una perspectiva que solo toma en cuenta el aspecto científico de esta.

Si bien la definición dada por el CDB comprende una generalidad frente al objeto de estudio de la biotecnología y permite entender en qué se fundamenta, así como su fin comercial; no debe dejarse de lado su impacto en otros contextos no científicos. Tal como puede observarse en la figura 1, se destacan diversos campos y áreas en los que esta tiene

impacto, no solo en ámbitos relacionados directamente con la ciencia, sino en otros como los educativos y culturales. Es importante tomar en cuenta también que esta definición no es sino una de muchas posibles, y que estas pueden tenerse presentes según al área de estudio y el contexto en el que se desee abordar la biotecnología.

Figura 1

Áreas que impacta la biotecnología



Nota. Elaboración propia

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que algunas acepciones han tenido una fuerte tendencia hacia el desarrollo de productos y aplicaciones, más que la generación y replicación de nuevo conocimiento integrado con el desarrollo en otras áreas. Como bien expresó Espinel (2020): “no solamente no hay un consenso en cuanto al concepto y la categorización de la Biotecnología en la literatura, sino que este término está relacionado

más con sus usos y aplicaciones que con el desarrollo de nuevo conocimiento científico” (p. 116). Es evidente que existen disparidades frente a cómo se desarrolla el conocimiento y más aún en cómo se comparte teniendo presente que su difusión no ocurre solo dentro de la comunidad científica, pues también ha cobrado presencia en los medios de comunicación, teniendo un alcance que cada vez es mayor (Brossard, 2019).

Es por ello, que resulta pertinente considerar que la generación de conocimiento biotecnológico no solo tiene incidencia en el ámbito científico, pues si bien es cierto que en algunos casos se hace referencia a los procesos tecnológicos involucrados y se hace un acercamiento a la acepción de "techo-ciencia", esta puede resultar excluyente para actividades relacionadas con la biotecnología que se desarrollan más allá de la ciencia o la tecnología, tales como algunas de las presentadas en la figura 1. Como afirma Muñoz de Malajovich (2012), el entendimiento holístico de esta como una multidisciplina radica en los impactos e implicaciones que tiene, que vienen de otras ramas de la ciencia como la física y la química, y adicionalmente toma en cuenta otras dimensiones como son la social, bioética, económica, política, e incluso el arte.

Sin embargo, pese a que se entiende que hay una amplia gama de conocimientos de distintas disciplinas que aportan de manera intrínseca a la biotecnología, no siempre se estudia como debiera, y esto incide en cómo se percibe y desarrolla en otros campos. Siendo de especial interés el de la educación, la cual históricamente parece haberse quedado en la socialización del conocimiento biotecnológico por encima de la apropiación e integración del mismo en los procesos educativos, como manifestaron Roa, *et al.* (2019):

La naturaleza del conocimiento biotecnológico se fue constituyendo de tal manera que apenas sí se dio espera para pensar en la regulación de las investigaciones y

las patentes de los descubrimientos. La entrada de los contenidos de biotecnología a la educación fue mucho más lenta (p. 413).

Y no solo tardó más en abordarse en la escuela, sino que fue de forma tal que se trabajó mayormente desde la perspectiva científica, dejando otras consideraciones de lado. Por tanto, debido a la complejidad y riqueza de conocimientos que se relacionan en la biotecnología, es prioritario que su enseñanza se haga desde un enfoque más amplio. Para poder trabajarlos, inicialmente es importante reconocer los contenidos más usados por los maestros, partiendo desde la biotecnología tradicional al tener en cuenta la historia de su desarrollo, y donde se contemplan procesos artesanales e industriales de fermentación, visto desde el proceso microbiológico y metabólico requerido para la producción de alimentos (cerveza, pan, yogurt); la selección artificial de fenotipos para cultivos, la producción de vacunas y medicamentos, entre muchas otras más (Franco, 2020; Ocelli, 2013). De igual modo, se abordan contenidos de la biotecnología moderna como la manipulación genética, la biorremediación, cultivo de tejidos vegetales in-vitro, clonación, transgénicos, así como algunos avances de investigaciones biotecnológicas (Gómez *et al.*, 2024; Ocelli *et al.*, 2018; Espinel y Valbuena, 2017).

En efecto, los contenidos abordados son bastante diversos y pueden considerarse como contemporáneos al abarcar aplicaciones que se mantienen vigentes pese a sus orígenes antiguos o aquellas que han surgido en los últimos años. Por ende, para poder entenderlos de esta manera en el aula, hace falta que no solo haya un acercamiento conceptual y procedimental de estos, sino que también se contemplen otros aspectos desde diferentes enfoques como por ejemplo el sociocrítico, para empoderar a los futuros ciudadanos en temáticas que representan parte de las controversias socio-científicas de la actualidad (clonación, organismos genéticamente modificados, terapia génica, células madre, etc.). También se encuentra el conocido como Ciencia, Tecnología, Sociedad y

Ambiente (CTSA), que como afirmaron Martínez y Parga (2013), visto desde la biotecnología “puede favorecer el desarrollo de concepciones dinámicas sobre la ciencia, en términos de entenderla como un emprendimiento humano que evoluciona permanentemente a la luz de controversias sociales” (p.29). Permitiendo así identificar más fácilmente la amplia gama de impactos que puede generar la biotecnología de manera contextualizada y reconociendo sus impactos en la sociedad.

Asimismo, como mencionaron Roa, *et al.* (2019), son temas que en la actualidad se manifiestan constantemente no solo en el ámbito de la investigación y desarrollo, sino también se han comenzado a manifestar en los medios de comunicación masivos y redes sociales; pero de manera superflua y sin entender las implicaciones de fondo que encierran. Generando entonces tanto vacíos conceptuales como falta de conocimiento para tomar una postura crítica clara frente a los debates biotecnológicos que se presentan desde las diferentes dimensiones más allá de lo científico, puesto que terminan por manejarse superficialmente y con poco entendimiento de su trasfondo y de su trascendencia.

Así las cosas, el cambio en la forma en la que se desarrolla este conocimiento dentro del contexto educativo permitiría a los estudiantes volverse gestores activos en la construcción del este, más que solo oyentes e intérpretes de aquel construido por otros. En la revisión realizada por Occelli, *et al.* (2018), donde se contemplan una serie de estrategias para la enseñanza de la biotecnología empleadas por docentes, encontró que las que se usan más frecuentemente pertenecen a las de carácter tradicional, destacan la lectura y resolución de actividades de libros de texto, la indagación bibliográfica, lectura de material seleccionado por el docente y las exposiciones. En orden de frecuencia, están seguidas por aquellas que involucran trabajo grupal, las cuales incluyen discusiones guiadas y juegos de roles. Finalmente, en menor frecuencia se encuentran las que son específicas de enseñanza de las ciencias, donde destacan los trabajos prácticos de laboratorio, pero

también se encuentran el planteamiento de interrogantes al inicio de las clases, resolución de problemas, análisis de datos y elaboración de conclusiones, y en menor medida el diseño de investigaciones por el docente o por el estudiante. Puede verse que, aunque existe gran gama de estrategias, la tendencia sigue siendo hacia las más tradicionales, aunque se da un énfasis importante a los trabajos prácticos, resultados que coinciden con lo presentado por Gómez, *et al.* (2024); destacando así la importancia de vincular los contenidos con prácticas experimentales que les permitan acercarse al desarrollo de otras habilidades.

El trabajo desde enfoques diferentes a los tradicionales permite que la enseñanza no solo esté enfocada en los contenidos científicos y en el desarrollo conceptual, sino también en la participación de los estudiantes para fomentar el desarrollo de sus habilidades procedimentales y actitudinales; así como a un enfoque multidisciplinario que permita un aprendizaje contextualizado con sus realidades y se extienda a un debate social, ético, económico, etc. (Espinel y Valbuena, 2017). Es por ello, que se propone la investigación en el aula como estrategia de enseñanza de la biotecnología, como se aborda en la siguiente categoría.

5.2 Investigación en el aula

En el ámbito escolar, la investigación hace parte de las metodologías activas de enseñanza, que al igual que otras estrategias como el aprendizaje basado en problemas, en proyectos, retos o juegos, tiene como objetivo el dar un rol activo al estudiante en su aprendizaje. Y si bien estas se han propuesto desde finales del siglo XIX, aún siguen siendo menos empleadas que las metodologías tradicionales (Gutiérrez, *et al.*, 2023). En general, estas propuestas buscan posicionar al estudiante como gestor autónomo de su proceso, lo que demanda tanto de él como de los maestros un cambio en los paradigmas establecidos dentro de la enseñanza y aprendizaje.

Se entiende entonces, que el interés detrás de estas metodologías es el posibilitar que el aprendizaje sea realista y aplicable a la cotidianidad del estudiante, donde además este se enfoque no solo en el desarrollo de tareas o trabajos, sino que el aprendizaje se dé desde una aproximación de su interés (Pegalajar, 2021). Para lograr esto, las estrategias del maestro deben apuntar a la dinamización de los contenidos en el aula, acercándose al reconocimiento de los intereses y conocimientos previos de los alumnos desde los elementos que resulten motivadores y estén acordes a sus capacidades de aprendizaje. Lo cual puede representar un reto dentro de la praxis del maestro puesto que demanda también factores como la planificación, el liderazgo, la organización, entre otros (Gutiérrez, *et al.*, 2023); todo ello sin perder de vista la postura orientadora que procura el aprendizaje activo en el estudiante.

Para llevar esto a cabo, Palencia (2020) menciona que el maestro puede realizar investigación desde diferentes aristas, pudiendo hacerse desde la perspectiva del docente sobre sí mismo y su quehacer, de parte del docente sobre los estudiantes y los resultados de su práctica, o por el docente con los estudiantes en conjunto o en interacción con ellos. En cualquiera de las instancias, la investigación educativa buscará posicionar al maestro investigador como aquel que promueve la investigación, participación y la innovación (Restrepo, 2009). El enfoque escogido dependerá de la intencionalidad de la investigación, que para este caso se refiere a aquella realizada por el docente con los estudiantes.

5.2.1 Investigación de los estudiantes

Si bien la investigación suele ser característica del ámbito universitario, el emplearla a nivel escolar resulta en una excelente estrategia pedagógica para el proceso de enseñanza y aprendizaje pues, como afirman García y Ladino (2008), esta permite un espacio de desarrollo activo de las competencias científicas en los estudiantes; contrapuesto a la praxis tradicional donde el papel del docente en el aula se ha relacionado

con el consignar conocimientos en los estudiantes, como lo expresaba Freire al hablar de la educación bancaria, causando entonces que estos adopten una postura pasiva frente a su proceso de aprendizaje. Así mismo, esto conlleva a que las dinámicas en el aula estén asociadas a procesos reduccionistas y memorísticos (Barragán y González, 2020).

En aras de cambiar estas tendencias y fortalecer los procesos de enseñanza, a lo largo de la historia de la pedagogía y la didáctica se han explorado otras estrategias que permitan al estudiante posicionarse activamente en la construcción del conocimiento, y por tanto surge también la necesidad de que los maestros revisen y mejoren su práctica profesional ya que como afirman Moya, *et al.* (2011) “han detectado posibles dificultades en el proceso de aprendizaje de sus estudiantes, al usar los métodos tradicionales de enseñanza” (p.120). Frente a ello, implementar la investigación escolar permite la adquisición y profundización de los conocimientos teóricos, pero además favorece la integración con los aspectos prácticos de los fenómenos estudiados y con ello generar un aprendizaje significativo en los estudiantes.

Es por ello que la investigación en el ámbito escolar es pertinente, dado que favorece que el estudiante encuentre soluciones o respuestas a una problemática determinada, que surge de intereses individuales o colectivos. Aunque en el caso de la investigación científica se tiene por objetivo el generar conocimiento nuevo a través de una serie de estrategias y metodologías que permitan analizar fenómenos propuestos desde una pregunta problema (Manterola y Otzen, 2013; Arenas, *et al.*, 2000), esto no necesariamente aplica a la investigación escolar, que tiene como uno de sus objetivos el desarrollo habilidades como el pensamiento crítico, la argumentación, la formulación de preguntas y la capacidad de análisis, entre otros (García y Ladino, 2008); pues al poner en práctica posibles soluciones se favorece el desarrollo de los procesos y estrategias necesarias para la resolución de problemas y la toma de decisiones (Mackay, *et al.*, 2018; Franco-Mariscal, 2015).

Aunado a este pensamiento crítico, la investigación escolar también se encuentra asociada a la adquisición de competencias, definidas por Soto (2021) como “el conjunto de conocimientos, actitudes, disposiciones y habilidades (cognitivas, socio-afectivas y comunicativas), relacionadas entre sí para facilitar el desempeño de una actividad en contextos relativamente nuevos y retadores” (p.153). Más puntualmente se asocia con las competencias científicas que, además de referirse a lo mencionado anteriormente, contemplan la resolución de problemas científicos mediante los conocimientos y actitudes del investigador que se concretan a través de la práctica y se comunican coherentemente a los demás (García y Ladino, 2008). Integrándose así procesos cognitivos, comunicativos y sociales a la elaboración de propuestas creativas que cuenten con posturas críticas, éticas y contextualizadas.

En la tabla 1, se presenta el resumen de las competencias que desarrollan los estudiantes a través de la investigación escolar, reportadas por Zompero, *et al.* (2022), Franco-Mariscal (2015) y Cañal (2012).

Tabla 1

Distintas propuestas de competencias científicas desarrolladas durante la investigación escolar

	Dimensiones de la competencia científica global (Cañal, 2012)	Dimensiones de la competencia científica en la investigación (Franco-Mariscal, 2015)	Categorías de competencias científicas (Zompero, et al., 2022)
Competencias conceptuales y cognitivas	Capacidad de utilizar el conocimiento científico personal para describir, explicar y predecir fenómenos naturales.	Planteamiento de la investigación	Capacidad para usar el conocimiento científico para describir, explicar y predecir fenómenos naturales.
	Capacidad de utilizar los conceptos y modelos científicos		Conocimientos relacionados con teorías, principios,

	para analizar problemas.		leyes y conceptos científicos básicos.
Competencias procedimentales	Capacidad de obtener información relevante para la investigación.	Planificación y diseño de la investigación	Conocimientos referentes a los procedimientos y prácticas desarrolladas en la ciencia
	Capacidad de procesar la información obtenida.	Recogida y procesamiento de datos	Capacidad para argumentar y tomar decisiones propias y sociales sobre el mundo natural.
	Capacidad de formular conclusiones fundamentadas.	Análisis de datos y emisión de conclusiones	
Competencias actitudinales	Capacidad de adoptar decisiones autónomas y críticas en contextos personales y sociales.	Actitud-reflexión crítica y trabajo en equipo	Capacidad para argumentar y tomar decisiones propias y sociales sobre el mundo natural.
Competencias integradas	Capacidad de utilizar en forma integrada Las anteriores capacidades para dar respuestas o pautas de actuación adecuadas ante problemas concretos científicos, tecnológicos o socio-ambientales, en contextos vivenciales del alumnado.	----	----
Competencias comunicativas	----	Comunicación de los resultados de la investigación.	----
Competencias para las implicaciones CTSA	----	----	Conocimientos, actitudes y valores sobre la naturaleza de la ciencia, sus relaciones e implicaciones con la tecnología, sociedad y ambiente. Tomar decisiones con base en las informaciones científicas y tecnologías necesarias para la resolución de problemas.

Competencias ciudadanas	----	----	Conocimientos, actitudes, valores y habilidades para la convivencia, la participación democrática y la solidaridad, considerando las implicaciones del conocimiento científico. Saberse relacionar con los otros de forma cada vez más comprensiva y justa.
Competencias para la promoción de la salud	----	----	Conocimientos, actitudes y valores para la comprensión y valorización de aspectos relativos a la salud personal y colectiva.

Nota. Elaboración propia.

Es importante resaltar que se presentan las competencias de cada autor acorde a las coincidencias presentadas entre estos, teniendo presente que en algunos casos solo algunos autores contemplan competencias particulares.

5.2.2 Investigación del maestro

Cuando se piensa en investigación llevada a cabo por un docente, usualmente se piensa en el aspecto teórico de la pedagogía y la didáctica, aquel que permita enriquecer los saberes que se pretenden llevar al aula de clase y el cómo hacerlo. Sin embargo, hace parte importante del quehacer de un maestro lo relacionado con los procesos de investigación educativa y los de reflexión que puedan estar vinculados a ello. En este sentido, se entiende que es intrínseco en la investigación del maestro el producir saberes pedagógicos que puedan enriquecer la práctica propia y de otros maestros, además de aquellos que se limiten únicamente a enriquecer los contenidos (Palencia, 2020).

Adicional a esto, la investigación del maestro resulta ser tan importante como la realizada por los estudiantes en el marco de indagar en el aula; puesto que también posee un rol relevante para potenciar los procesos de enseñanza y aprendizaje. En ese orden de ideas, el aula de clase debe ser un espacio de pesquisa para el maestro que le permita, desde diferentes perspectivas, llevar a cabo un proceso de indagación y reflexión conscientes y estructuradas con el fin de cambiar los paradigmas bajo los que se enseña en la escuela tradicional y en el que se fomenten las prácticas educativas para mejorar el desempeño de los estudiantes, así como también el aprendizaje contextualizado y con un sentido sociocrítico (Moya, *et al.*, 2011; Palencia, 2020).

Como ya se hizo notar, la investigación del maestro debe resultar en los saberes que permitan tener la reflexión como ese elemento articulador entre el conocimiento teórico y el práctico resultante del mismo quehacer cotidiano (y no transmitido por terceros). Consecuencia de esto entonces, como propone Domingo (2021), mediante la revisión de su propia práctica podrá no solo encaminar a sus estudiantes a ser sujetos activos de su formación, sino también mejorar continuamente su labor en el aula; y como mencionan Hernández y Moreno (2021), su influencia sobre la práctica será verificable en tanto se esté siempre dispuesto a repensar y revisar sus posturas durante su ejercicio pedagógico. Así las cosas, se hace latente la importancia de revisar el ejercicio docente, entendiendo la capacidad del maestro de ser un profesional reflexivo y de poder transformar su praxis para hacerse más competente frente a los procesos de enseñanza. En particular, teniendo presente que “la experiencia cotidiana también juega un papel fundamental donde el aula de clase se convierte para el maestro en un escenario propicio para su formación” (Luján y Londoño 2020, p.231).

Ante todo, este ejercicio pretende una consideración sistemática y metódica de las prácticas en el aula, así como su impacto en la enseñanza y aprendizaje; y en segunda

instancia dar continuidad al proceso formativo del maestro en su desarrollo profesional. Añadiendo a lo anterior, cuando el estudiante o el maestro realizan investigación, se desarrollan competencias investigativas y científicas. Según Borjas (2000, citado por Luján y Londoño, 2020) estas competencias para el maestro son “las capacidades y actitudes del docente de someter a crítica lo que hace, cómo lo hace y cómo hacerlo mejor, con dominio de la lógica para resolver cualquier problema; es decir, en una reelaboración del saber” (p. 230). Las cuales incluirían tanto el dominio temático como la capacidad pedagógica para que se pueda construir conocimiento. Se entiende entonces, que el proceso de investigación requiere una revisión y adecuación constante para que el maestro se ajuste a las realidades y contextos de sus estudiantes acorde a las condiciones sociales, culturales, entre otras, de ellos.

A continuación, se presentan algunas competencias desarrolladas por los maestros en el marco de la investigación en el aula como respuesta al acompañamiento a los estudiantes y a su contexto.

Según la propuesta de Londoño y Luján (2020) el maestro desarrolla la capacidad para:

- Reconocer problemas en el contexto que se desempeña.
- Someter a crítica la práctica pedagógica y mejorar su desempeño.
- Proponer soluciones a problemas que identifica en su práctica pedagógica a través de métodos de investigación.
- Utilizar el lenguaje científico para analizar problemas y preguntas de diferentes contextos
- Identificar problemas científicos, formular hipótesis y proponer proyectos de investigación.

- Comprender como se construye el conocimiento científico.

Es importante destacar que otros autores como Valle, *et al.* (2022) y Aular de Durán, *et al.* (2009) también resaltan este tipo de competencias, aunque no de manera explícita, pero si aluden que estas permiten a los maestros identificar y analizar los problemas educativos desde la comprensión de las diferentes realidades y necesidades presentes en el aula, para dar respuesta a estos mediante los procesos reflexivos suscitados.

5.2.3 Investigación del maestro con los estudiantes

Esta permite realizar una investigación en doble vía, tanto para el estudiante como para el maestro pues según Palencia (2020) “el docente orienta las experiencias cotidianas hacia la reflexión y exploración conjunta, alrededor de preguntas formuladas por los estudiantes en torno a fenómenos de los sistemas socrionaturales” (p.110). Para este proceso, el maestro realiza un acompañamiento a los estudiantes donde se les anima a proponer problemas o preguntas en áreas de su interés, asesorando el desarrollo, pero sin dar el conocimiento directamente a los alumnos; quienes deberán buscar de este en el proceso colaborativo de la investigación. Esto permite que los estudiantes construyan el conocimiento de manera activa, además de potenciar otras competencias como el trabajo colaborativo, el pensamiento crítico y propositivo, entre otras (González, 2024a; Restrepo, 2009).

Profundizando un poco, el maestro es el acompañante de los procesos de aprendizaje e investigación del estudiante y además atiende las preguntas que surjan de su ejercicio docente. Para lograrlo, realiza un análisis profundo de sus problematizaciones, buscando transformar la práctica de manera proactiva con base en los resultados para propiciar un aprendizaje significativo en los educandos y cambios en las metodologías,

conceptos y actitudes tanto del maestro como del estudiante (Luján y Londoño, 2020; Moya, *et al.*, 2011; Restrepo, 2009).

Resulta entonces, sumamente atractivo que este tipo de investigación le permita realizar al maestro una reflexión desde los espacios generados en el aula, y a su vez acompañar al estudiante en su propio proceso investigativo para la construcción de conocimiento a la par de su formación como ser social y ciudadano crítico. Para ello, se procura que sean investigaciones que les generen conocimiento no solo de carácter teórico sino también aplicable, contando con metodologías e instrumentos que brinden validez y confiabilidad en diferentes espacios de enseñanza y aprendizaje. Habría que decir también, que este tipo de investigación favorece el desarrollo de habilidades y competencias en los estudiantes desde diferentes dimensiones.

Puede verse, entonces que la investigación en el aula no solo resulta en una apuesta interesante y beneficiosa para el aprendizaje y el desarrollo de habilidades y competencias de los estudiantes, sino que también representa un gran aporte al proceso de enseñanza y al quehacer docente. Esto debido a la posibilidad del maestro de investigar no solo con los estudiantes sino también investigar sobre sus propios procesos y reflexionar sobre sus prácticas. De esta forma la investigación escolar se convierte en un insumo para el maestro a la hora de ajustar sus metodologías en favor de las necesidades de los alumnos, creándose una comunidad científica colaborativa y en constante desarrollo (Aparicio, 2018).

6. Marco Metodológico

Para el desarrollo de esta investigación, se trabajó en el marco del paradigma hermenéutico-interpretativo y enfoque cualitativo. Así mismo, se emplearon diferentes instrumentos para la recolección de datos como la entrevista y el diario de campo. A continuación, se desglosarán a detalle.

6.1 Paradigma: Hermenéutico-interpretativo

La investigación se realizó dentro del paradigma hermenéutico-interpretativo, teniendo presente que, según Barrero, *et al.* (2011) “las investigaciones realizadas según este paradigma se centran en la descripción y comprensión de lo particular, lo singular de los fenómenos, más que en lo generalizable” (p. 107). Adicionalmente, se ubica mayormente en fenómenos sociales o asociados al comportamiento, lo que en el caso de este trabajo concierne al enfoque en los estudiantes, la docente, así como la interacción de estos; centrándose en el proceso de construcción del conocimiento de manera vivencial, así como la reflexión sobre el mismo.

Puesto que este paradigma pretende comprender las particularidades del fenómeno a estudiar, guiándose del contexto social e histórico en el que se presente en vez de únicamente proponer generalidades o leyes (Martínez, 2013), resulta pertinente para la investigación dado que se trabajó una estrategia que aporta a la institución educativa en los procesos de formación en biología y para las necesidades específicas del bachillerato internacional, y así mismo se propendió por la transformación de la práctica docente orientándose desde lo observado en ese escenario particular.

6.2 Enfoque de investigación

Teniendo presente que en esta propuesta se analizaron los impactos que tiene la investigación escolar en biotecnología sobre el desarrollo de las competencias científicas, se trabajó desde un enfoque cualitativo, que como mencionan Hernández, *et al.* (2014), permite estudiar los fenómenos desde los mismos participantes de la investigación, dando lugar a una recolección de datos desde las perspectivas, experiencias, puntos de vista, interacciones entre los actores y otros aspectos. Esto a través de un proceso flexible que permita interpretar las diferentes realidades, así como analizar las interrelaciones que se presentan para comprender mejor el objeto de estudio.

Siendo así, esta propuesta investigativa es de carácter cualitativo al buscar comprender las realidades y experiencias de los actores que participan de la misma, así como su cambiante relación con el saber y las vivencias relacionadas con el desarrollo de las competencias científicas durante el diseño y ejecución de los proyectos estudiantiles propuestos, el acompañamiento y estrategias empleadas por la maestra para ello, así como las reflexiones y trabajo colaborativo realizado en el marco de la investigación.

6.3 Contextualización

6.3.1 Caracterización de la institución educativa

El Colegio Santo Tomás de Aquino es una institución privada que se encuentra ubicada en Bogotá, en la localidad de Usaquén. Este es de carácter confesional, fundado en 1573 y regentado por la orden de los dominicos desde entonces. Por ello, sus pilares principales de formación giran en torno a la fe, la preparación para la vida en comunidad y la estudiosidad; siendo estas fortalezas del sistema educativo de la institución (CSTA, 2024). Actualmente el colegio se encuentra impartiendo el Programa de Diploma (PD) del currículo de Bachillerato Internacional IB, el cual cuenta con la asignatura de biología como

parte del programa que se completa en el lapso de dos años (décimo y once). Como requisito para la obtención del diploma internacional, se tiene la elaboración de un trabajo de grado de manera individual.

6.3.2 Población y muestra

La promoción 2024-2025 del PD cuenta con un total de 97 estudiantes en el rango de 16 a 18 años, de los cuales 18 escogieron la asignatura de biología para su trabajo de grado. Sin embargo, solo cinco escogieron como temática la biotecnología para desarrollar su trabajo experimental como parte de su investigación. Por ello, esta es la muestra con la que se realizó la presente propuesta.

6.4 Confidencialidad de datos

El presente trabajo contó con la autorización de las directivas del colegio para la recolección de datos, al cumplir la función de supervisora de los trabajos de grado de los estudiantes pertenecientes a la muestra. Así mismo, se envió a los padres de familia un consentimiento informado para autorizar el uso del material obtenido durante la investigación (ver anexo 1).

6.5 Manejo de material biológico y químico

El material biológico y químico empleado durante la fase experimental de los estudiantes fue manejado siguiendo las normas de seguridad estipuladas por la institución educativa para el trabajo en laboratorio. Así mismo, su disposición se realizó acorde a la normativa de manejo de sustancias de desecho establecida por el área de planta física del colegio, acorde a la ley colombiana.

6.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Dado el tipo de investigación, las técnicas e instrumentos empleados deben ser aptas para poder captar los fenómenos dentro del dinamismo que los caracteriza. De acuerdo a Hernández, *et al.* (2014), la recolección de datos cualitativos permite describir detalladamente las situaciones observadas, las interacciones entre los participantes y los procesos reflexivos a lo largo de la investigación. Para ello, se emplearon técnicas e instrumentos como la observación, la entrevista, los documentos y el diario de campo.

Según Hernández, *et al.* (2024), la observación implica no solo la acción de ver, sino una más compleja que lleva a “adentrarnos profundamente en situaciones sociales y mantener un papel activo, así como una reflexión permanente. Estar atento a los detalles, sucesos, eventos e interacciones” (p. 399). En este sentido, se buscó observar las actitudes y el desempeño durante el trabajo investigativo, de modo que pudieran comprenderse los procesos que se estaban dando desde diversas perspectivas a lo largo de las investigaciones de los participantes para hacer seguimiento del desarrollo de algunas competencias científicas.

Otra técnica empleada fue la entrevista, la cual al ser flexible permitió recolectar información por medio del diálogo con el o los entrevistados, convirtiéndose en conversatorio cuando participan varias personas. De acuerdo con Arias (2012), estas se caracterizan por su profundidad respecto a otras formas de recolección oral de datos, donde se puede indagar de manera amplia acerca de diferentes aspectos y detalles. Para las necesidades puntuales de la investigación, se trabajó con entrevistas semiestructuradas, dado que “aun cuando existe una guía de preguntas, el entrevistador puede realizar otras no contempladas inicialmente. Esto se debe a que una respuesta puede dar origen a una pregunta adicional o extraordinaria” (p. 74).

Añadiendo a lo anterior, se encuentran los documentos, como los describen Hernández, *et al.* (2014) permiten entender el fenómeno central de estudio a través de diversos medios y herramientas que se emplean al narrar o producir ideas. Principalmente son de utilidad al investigador para conocer las situaciones que se estén produciendo en un ambiente particular, y poder identificar su funcionamiento tanto cotidiano como no frecuente. Así mismo, al ser un medio donde los participantes no son observados directamente al comunicar sus ideas, pueden realizarse sin que estos se sientan coartados o limitados.

Además, se empleó como instrumento para la recolección de datos el diario de campo, el cual resulta ser una herramienta versátil que, acorde a Luna, *et al.* (2022), permite no solo dar un apoyo a la memoria, sino que se convierte en un espacio donde se registra las experiencias del trabajo mientras que lo lleva a un proceso de reflexión y autocrítica. Este permite tanto a los estudiantes como a la maestra visibilizar las ideas y procesos de manera crítica y reflexiva, siendo más que una herramienta de registro, una que permita potenciar el trabajo tanto individual como colaborativo en las diferentes fases del proyecto de investigación escolar.

6.7 Análisis de contenido cualitativo

Además de lo anterior, se realizó un análisis de contenido cualitativo para evidenciar patrones y tendencias en los datos recopilados dado que, según Andreu (2002) es una “técnica de interpretación de textos” que “combina intrínsecamente (...) la observación y producción de los datos, y la interpretación o análisis de los datos” (p.2). Esto, fue posible debido a la identificación de unidades de análisis, que de acuerdo a Fernández (2002) “son los segmentos que interesa investigar del contenido de los mensajes escritos, susceptibles posteriormente de ser expresados y desglosados en categorías y subcategorías” (p.38).

Estas, fueron agrupadas en categorías deductivas o teóricas (elaboradas a partir de la revisión documental) para luego analizarlas. De este modo, pudo realizarse un seguimiento a las competencias científicas y avances de los proyectos a través de los contenidos presentes en las entrevistas, reflexiones y documentos de los estudiantes.

Para la presente investigación, se documentó, sistematizó y reflexionó sobre el contenido recopilado mediante los diferentes instrumentos empleados, codificados como se presenta en la tabla 2. Las respuestas del conversatorio se sistematizaron mediante el software ATLAS.ti, mientras que las correspondientes a las entrevistas reflexivas y diario de campo se realizaron de manera manual, empleando unidades de análisis que fueron categorizadas con base a las competencias científicas escogidas teniendo en cuenta la revisión documental.

Tabla 2

Fuentes y codificación de la información

Fuente	Cantidad	Código
Entrevista reflexión inicial	5	ERi1, ERi2, ERi3, ERi4, ERi5
Entrevista reflexión intermedia	5	ERin1, ERin2, ERin3, ERin4, ERin5
Entrevista reflexión final	5	ERf1, ERf2, ERf3, ERf4, ERf5
Diario de campo docente	1	DCD

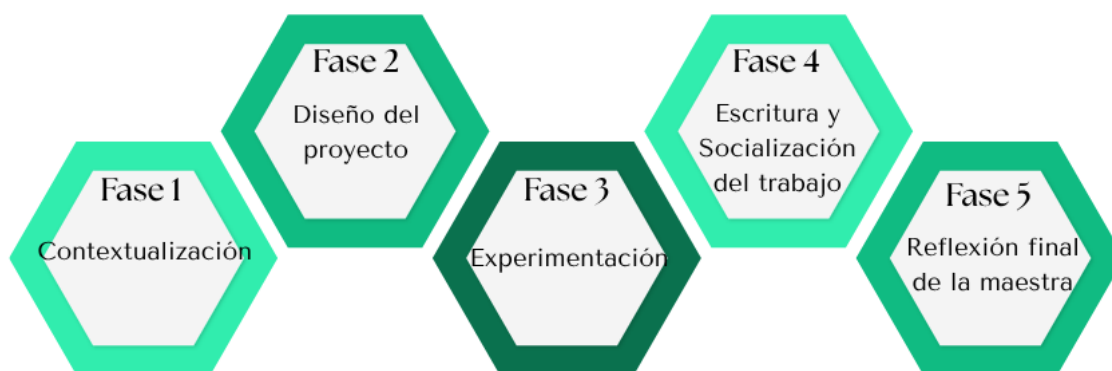
Nota: *Elaboración propia*

6.8 Diseño metodológico

En la figura 2 se presenta el diseño metodológico propuesto para la investigación, así como la posterior explicación de las fases ejecutadas.

Figura 2

Diseño metodológico de la investigación



Nota. *Elaboración propia*

6.8.1 Fase 1. Contextualización

Durante esta fase se desarrolló el marco teórico necesario para el presente trabajo, mediante una revisión documental extensiva con relación a la enseñanza de biotecnología, investigación escolar y educativa; así mismo la indagación permitió la construcción de la fundamentación teórica sobre las competencias científicas (tabla 1), y a partir de los autores consultados se establecieron las que se evaluaron en la investigación.

De esta misma forma, se realizó una revisión de los documentos institucionales pertinentes como el Proyecto Educativo Institucional (PEI), el Sistema Institucional de Evaluación (SIE) y los lineamientos del Bachillerato Internacional para la asignatura de biología, en aras de desarrollar los proyectos de investigación en concordancia con los requerimientos del colegio.

6.8.2 Fase 2. Diseño del proyecto

Esta fase se dividió en varios momentos, iniciando por el diálogo con los cinco estudiantes que escogieron hacer su investigación en biotecnología, para que cada uno delimitara su área de interés. En este primer momento también se buscó establecer sus posturas y conocimientos previos frente a la investigación escolar y la biotecnología, razón por la cual se realizó una entrevista semiestructurada grupal, la cual se convirtió en un conversatorio, que acorde a Arias (2012) brinda la flexibilidad de abordar otras cuestiones que surjan a partir de las respuestas dadas, dando mayor profundidad a los aspectos y detalles discutidos entre los participantes. Se emplearon las preguntas que plantea Gómez (2021) para indagar sobre las percepciones de los estudiantes sobre la investigación, con ajustes acorde al contexto (anexo 2).

Posterior a ello, los estudiantes delimitaron las temáticas según los gustos e intereses particulares para luego iniciar la estructuración del proyecto de investigación escolar, en el cual hubo acompañamiento por parte de la maestra durante el planteamiento de la pregunta problema, objetivos de investigación, marco teórico y metodológico. Finalmente, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada individual para orientar el proceso reflexivo de los estudiantes, utilizando preguntas propuestas por el programa del bachillerato internacional en lo que se denomina la “reflexión inicial” (anexo 3).

Además del acompañamiento a los participantes en la investigación, la maestra en su diario de campo anotaba información relevante con respecto a los encuentros formales e informales, que no quedaron plasmados en las reflexiones escritas, dado que estas tenían límite de palabras por parte del IB. Sin embargo, se registraron debido a que se consideraron pertinentes para el análisis. Añadiendo a lo anterior, se escribieron reflexiones propias respecto a lo dialogado y observado durante los diferentes momentos de esta fase.

6.8.3 Fase 3. Experimentación

Para esta fase, los estudiantes iniciaron los procesos experimentales propuestos en sus documentos, donde se realizaron sesiones de acompañamiento y asesoría por parte de la maestra durante la ejecución de las prácticas. Para ello, se designó un espacio de trabajo dos veces por semana, para que asistieran de manera continua de acuerdo con la frecuencia y necesidades de cada experimento.

Durante este proceso, se solicitó a los estudiantes realizar registros de sus experimentos y resultados en un cuaderno de laboratorio, para que lo pudieran utilizar como un insumo en el documento de investigación de cada uno. De manera paralela, la maestra siguió anotando lo observado frente al comportamiento de los jóvenes en el diario de campo. Para finalizar esta fase, se propició nuevamente el espacio de entrevista semiestructurada con las preguntas propuestas por el programa del bachillerato internacional para la denominada “reflexión intermedia” (anexo 4).

6.8.4 Fase 4. Escritura y Socialización del trabajo

Para el desarrollo de esta fase, se otorgaron varios espacios de retroalimentación sobre el documento escrito, que es requisito de grado para el bachillerato internacional, y la infografía para la presentación oral; este proceso fue acompañado y orientado por la maestra. Una vez entregado el documento, en otro momento cada estudiante presentó su investigación en aras de compartir no solo los resultados, sino también las reflexiones y aprendizajes al final del proceso. Esto ocurrió frente a otros compañeros de grado noveno, la docente encargada de la asignatura de monografía y la maestra autora de la investigación.

Para finalizar, y dar cierre a la fase, se llevó a cabo el tercer espacio solicitado por el bachillerato internacional, denominado “reflexión final” (anexo 5).

6.8.5 Fase 5. Reflexiones finales de la maestra

Una vez finalizado el acompañamiento realizado a los estudiantes, la última fase del presente trabajo se destinó como espacio de reflexión de la maestra, en consideración de la metodología de investigación escogida del maestro con los estudiantes (Palencia, 2020). Para ello, se tomaron en cuenta todas las reflexiones y momentos trabajados con los estudiantes, de modo que mediante estos pueda hacerse una descripción del papel que tuvieron en el marco de la investigación para la transformación de la práctica docente.

Así mismo y a modo de cierre, se analizaron las implicaciones de la investigación escolar en biotecnología como una estrategia didáctica, evaluando la incidencia de esta en el aprendizaje, así como el desarrollo de las competencias científicas en los estudiantes a lo largo de las fases ejecutadas.

7. Resultados Y Análisis

En esta sección se presentan los resultados y sus correspondientes análisis para cada una de las fases implementadas.

7.1 Fase 1. Contextualización

Después de la revisión documental teniendo en cuenta a Zompero, *et al.* (2022), Franco-Mariscal (2015) y Cañal (2012), con respecto a las competencias científicas se retomaron aquellas que buscaron desarrollarse en la presente investigación y por ello se presenta en la tabla 3 una propuesta que contempla coincidencias entre autores y las afines a la investigación escolar en biotecnología ambiental e industrial.

Cabe destacar que, debido a su pertinencia con relación a la investigación escolar en biotecnología, algunas a pesar que solo fueron consideradas por un autor, se contemplaron para la propuesta, y otras que, aunque son importantes, tales como las competencias ciudadanas, la capacidad de diferenciar la ciencia de otras interpretaciones no científicas, las competencias tecnológicas, la capacidad de valorar las fuentes de información de forma objetiva, entre otras, no se abordaron en la presente propuesta. Sin embargo, como afirma Cañal (2012), las competencias se desarrollan en conjunto y esto aplica en el contexto de la investigación escolar, por lo que, aunque no todas se evidencien de manera explícita durante el proceso, se considera que los estudiantes a lo largo de su trabajo las están desarrollando, pero no se les hace seguimiento debido al tiempo que esto demandaría dentro de la presente investigación.

Tabla 3

Competencias científicas desarrolladas por los estudiantes durante la investigación escolar

Competencias cognitivas y conceptuales	Competencias procedimentales	Competencias actitudinales	Competencias CTSA
Identificación de problemas científicos contextualizados.	Planteamiento, diseño y ejecución de investigaciones.	Pensamiento crítico.	Relaciones del conocimiento científico con la tecnología, sociedad y ambiente.
Comprensión de conceptos científicos.	Interpretación de datos científicos.	Comunicación científica y trabajo colaborativo.	
	Análisis crítico y extracción de conclusiones.		

Nota: *Elaboración propia, basado en Zompero, et al., 2022; Franco-Mariscal, 2015; Cañal, 2012*

A continuación, se explican los criterios empleados para la construcción de las competencias científicas propuestas y presentadas en la tabla 3, las cuales fueron utilizadas para hacer seguimiento a los estudiantes durante el proceso de la investigación escolar en biotecnología.

Competencias conceptuales y cognitivas: Se proponen a partir de las capacidades inherentes a la dimensión conceptual planteada por Cañal (2012), donde destaca el uso de los conocimientos básicos de conceptos y modelos para plantear un problema y sus posibles soluciones. Esto se corresponde con lo mencionado por Zompero, *et al.* (2022) en su categoría de competencias cognitivo-conceptuales. Se contempla además lo propuesto por Franco-Mariscal (2015), quien destaca en su dimensión de planteamiento de la investigación, la capacidad de identificar e interesarse por problemas científicos. Otras capacidades de esta categoría propuestas por el autor son tenidas en cuenta en distintas dimensiones del presente trabajo.

Competencias procedimentales: Esta engloba la dimensión metodológica de Cañal (2012) y la categoría de competencias procedimentales de Zompero, *et al.* (2022) frente al planteamiento y diseño de la investigación. Cabe resaltar que, aunque Franco-Mariscal (2015) también aborda este aspecto, lo hace en una dimensión diferente puesto que, para él, se plantean los objetivos y se formula la hipótesis de la investigación a partir del conocimiento científico. Para este caso, se hace desde los procedimientos y las prácticas desarrolladas en la ciencia, cuestión que también es abordada de esta manera por los otros dos autores. A su vez, esta competencia aborda habilidades relacionadas con la recolección e interpretación de datos, así como la elaboración de conclusiones, esto basándose en las coincidencias encontradas en los trabajos de Cañal (2012) y Franco-Mariscal (2015).

Competencias actitudinales: Se propone tomando como base la actitud crítica y la capacidad de toma de decisiones de manera autónoma que es sugerida de manera reiterativa por los tres autores, destacando de Cañal (2012) quien propone desde su dimensión actitudinal la relevancia de la toma de decisiones autónomamente y con fundamentos claros en contextos tanto personales como sociales. Por su parte, Franco-Mariscal (2015) refuerza esta actitud en torno a lo reflexivo y crítico frente a los resultados obtenidos en la investigación y además resalta la importancia del trabajo colaborativo para ello; aunado a esto, también se añade la dimensión comunicativa que, pese a no coincidir con las propuestas de los demás trabajos revisados, se considera relevante puesto que destaca la importancia de la capacidad de dar a conocer los resultados de la investigación. Por su lado, Zompero, *et al.* (2022) realizan la aproximación desde la categoría procedimental, sin embargo, se decide agruparla en lo actitudinal, dado a que se fundamenta en la toma de decisiones propias y sociales a partir de los conocimientos y prácticas realizadas.

Competencias Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA): Si bien solo se encuentra en la propuesta de Zompero, *et al.* (2022), quienes la destacan como una categoría de interés, se adopta teniendo presente la importancia de relacionar las investigaciones en biotecnología con otros campos que puedan verse impactados por esta. Para las autoras, esta implica reconocer los valores y actitudes de la naturaleza de la ciencia, así como sus implicaciones con la tecnología, la sociedad y el ambiente. Así mismo, relacionan la capacidad de tomar decisiones informadas no solo desde la ciencia, sino desde los otros ámbitos. Durante la revisión, se encuentra que si bien Cañal (2012) no tiene una categoría estrictamente dedicada a otras implicaciones, presenta la importancia de emplear de manera integrada todas las competencias descritas por él, para dar respuesta a problemáticas de carácter científico, tecnológico o socioambiental; en lo que le llama la dimensión integrada. Destacando aquí la importancia del desarrollo de esta de manera global a la par del desarrollo de las otras.

7.2 Fase 2. Diseño del proyecto

Para iniciar la fase con los estudiantes y a modo de diagnóstico, se realizó un conversatorio semiestructurado sobre las concepciones con relación a “qué es investigar”, “las implicaciones de la investigación” e “investigar en biotecnología”. Posteriormente, los estudiantes delimitaron sus temas de investigación y propusieron dos centros de interés: fermentación y biorremediación, en los cuales quienes tenían temas afines tuvieron posteriores reuniones para apoyarse en el diseño del proyecto con el acompañamiento de la maestra. A partir de estos centros de interés, el enfoque de la investigación de los estudiantes se centró en la biotecnología ambiental o industrial.

Al sistematizar los datos del conversatorio mediante el software ATLAS.ti, surgieron los siguientes códigos como criterios de análisis a partir del contenido de las respuestas:

llegando al desconocimiento de su relación con aplicaciones tradicionales como la fermentación.

Si bien esto pone en evidencia la necesidad de ampliar la perspectiva de cómo se entiende la biotecnología desde lo conceptual, vale la pena resaltar que, aunque no en igual medida, figuran otros términos relacionados tales como “sociedad, personas, especies, cultural, ecosistema” entre otros, dando cuenta que, aunque no en la misma proporción, existe un reconocimiento por parte de los estudiantes de otras implicaciones que tiene tanto la investigación como la biotecnología. Con respecto a los aspectos procedimentales, surgen algunas palabras como “indagar, buscar, hacer, experimento, conocimiento, proceso” que son propias de estos y demuestran las preconcepciones del alumnado frente al quehacer científico en esta dimensión. Una reflexión similar fue presentada por Gómez (2021) al indagar sobre la percepción de los estudiantes frente al hacer investigación y las cualidades necesarias para ello.

Este mismo escenario se presenta para el ámbito actitudinal, donde se reflejan algunas posturas interesantes que presentan los estudiantes, pero que aún están en desarrollo dado el tamaño de las palabras en la nube, tales como “quiero, gusta, podemos, porque, disciplina, futuro”. Con ello, se evidencia la importancia de la motivación para llevar a cabo los proyectos; además, se mencionan vocablos como “impacto, afecta, negativo, futuro” que demuestran otras concepciones frente a las implicaciones dialogadas, aunque con menor incidencia. Añadiendo a lo anterior, teniendo en cuenta lo mencionado durante el conversatorio, se evidencian capacidades asociadas a las competencias CTSA, aunque no de manera explícita, ya que las menciones son ocasionales y no muy elaboradas. Esto se relaciona con lo encontrado por De la Vega, *et al.* (2018), quienes resaltan la influencia de la perspectiva de la sociedad sobre las concepciones propias, y que en este caso frente a las cuestiones biotecnológicas hay una herencia que entorpece la toma de decisiones y

las posturas críticas e informadas. Razón por la cual resulta clave el abordar estos aspectos desde el aula, aunque de manera tradicional los problemas científicos “generalmente son enfocados en evaluar conocimientos disciplinares y algorítmicos que en la mayoría de los casos poseen respuestas correctas o incorrectas” (Martínez y Parga, 2013, p.29). Esto nuevamente pone en evidencia por qué para los estudiantes no siempre es tan intuitivo el abordaje de las controversias socio-científicas y las implicaciones en otras áreas.

Posteriormente y teniendo en cuenta la información obtenida del conversatorio, se hizo el acompañamiento a los estudiantes para el diseño de su proyecto de investigación (pregunta problema, objetivos de investigación, marco teórico y metodológico). En especial pues si bien los estudiantes iniciaron de manera autónoma la revisión documental para delimitar su investigación, surgían comentarios como : *“he leído mucho, pero ahora me doy cuenta que el tema es muy extenso, más de lo que pensaba”* (DCD) y *“es difícil encontrar fuentes confiables, hay mucha información pero a veces siento que no encuentro lo que necesito”* (DCD), lo que planteó la necesidad de dar herramientas a los estudiantes como recomendar fuentes confiables para encontrar información, estrategias de búsqueda y aclarar inquietudes frente a conceptos desconocidos.

Estos espacios se desarrollaron teniendo en mente el rol del maestro durante el acompañamiento de la investigación, entendiendo que, si bien no hace el trabajo por los estudiantes, da una orientación tal que les permita trabajar de manera autónoma y con confianza en sí mismos a partir del reconocimiento de sus necesidades y particularidades (Gutiérrez, *et al.*, 2023). Razón por la cual se desarrollaron espacios de tutoría individual, por centros de interés y de manera general con todos; de modo que también pudieran apoyarse entre ellos y potenciar el trabajo colaborativo.

Al finalizar la fase, cada estudiante realizó su reflexión inicial, dando respuesta a las preguntas sugeridas por el bachillerato internacional, las cuales permitieron identificar el

desarrollo de las competencias científicas escogidas a evaluar. Con esto en mente y con las unidades de análisis de los contenidos de las reflexiones se organizan en las categorías deductivas o teóricas escogidas. Varios ejemplos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Algunas reflexiones iniciales de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas

Competencias científicas	Unidades de análisis	
Competencias cognitivas y conceptuales	<p><i>Identificación de problemas científicos contextualizados</i></p> <p>“Cómo podemos entender y mitigar ese impacto ambiental que hoy en día se puede presenciar” (ERi2)</p> <p>“Decidí enfocarme en el entendimiento de la producción de etanol en la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>” (ERi4)</p>	<p><i>Comprensión de conceptos científicos</i></p> <p>“Mi objetivo es aprender cuáles son las capacidades de biorremediación de algunas plantas endémicas.” (ERi1)</p> <p>“Aprendí sobre los procesos de fermentación de las levaduras y las condiciones necesarias” (ERi5)</p>
Competencias procedimentales	<p><i>Planteamiento, diseño y ejecución de investigaciones</i></p> <p>“Mi primera corrección importante fue tener clara mi pregunta problema... tenía que gestionar qué materiales usar y familiarizarme con las especies de alga.” (ERi3)</p> <p>“Un método para la investigación sería la consulta de información relevante en artículos y libros.” (ERi2)</p>	<p><i>Interpretación de datos científicos</i></p> <p>“Ya tengo suficiente información y estudios para dar inicio, por medio de la recolección de muestras, la cantidad de tensioactivos que se va a utilizar para el proceso experimental de biorremediación” (ERi1)</p> <p>“Analizar la relación entre la cantidad de glucosa de un sustrato y la producción de etanol de la levadura de cerveza durante el proceso de fermentación” (ERi4)</p>
Competencias actitudinales	<p><i>Pensamiento crítico</i></p> <p>“Las cuestiones éticas a considerar son tener las normas de seguridad a la hora de desarrollar salidas de campo y para la recolección de cualquier material.” (ERi2)</p> <p>“Aunque aún me cuesta entender las metodologías, creo que desarrollé mucho más criterio para escoger</p>	<p><i>Comunicación científica y trabajo colaborativo</i></p> <p>“Esto [las reuniones por centros de interés] me ha permitido desarrollar habilidades mucho más autónomas de investigación y he aprendido a darle dirección y propósito a mi proyecto” (ERi4)</p>

	fuentes confiables e interpretar la información que encuentro”. (ERi3)	“Dialogar con mi compañera sobre los procesos de fermentación me ha permitido entender mucho mejor, y me ha dado ideas interesantes que me servirán para mi experimentación” (ERi5)
Competencias CTSA	<p align="center">Relaciones del conocimiento científico con la tecnología, sociedad y ambiente.</p> <p>“La motivación es ayudar a la biorremediación de uno de los plásticos más producidos del planeta, el tereftalato de polietileno (PET) en un humedal de la ciudad” (ERi2)</p> <p>“Este proceso me ha llevado a tener una reflexión con respecto al impacto que tiene la ciencia en muchos aspectos... aparte de tener un impacto biológico y ecosistémico, también abarca en lo cultural, en lo social, e incluso en lo económico” (ERi1)</p>	

Nota: Elaborado por la autora

Como puede observarse en la tabla 4, las unidades de análisis empleadas dan cuenta de las habilidades, capacidades y actitudes desarrolladas acorde a la competencia analizada. Haciendo una comparativa con la narrativa inicial del conversatorio diagnóstico, puede evidenciarse que, aunque los estudiantes se encuentran en una etapa temprana del proyecto, el realizar el diseño de este de manera autónoma les permitió ampliar su perspectiva frente a las diferentes competencias. En general demuestran mayor apropiación de los conceptos científicos y biotecnológicos asociados al problema escogido; reconocen las necesidades y requerimientos para su investigación, y así mismo comienzan a evaluar las diferentes implicaciones de esto en otros campos. Puede observarse también, que empiezan a aparecer posturas que consideran aspectos éticos, ambientales, sociales y económicos, demostrando argumentos más elaborados frente a los presentados durante el inicio de la fase.

Lo anterior, coincide con lo evaluado por González (2024b), Vargas (2023) y Cano (2009), quienes resaltan como a través del diseño de proyectos y la implementación de la

investigación escolar, se desarrollan una serie de habilidades para la vida, que fortalecen los procesos relacionados con el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Si bien para esta fase no se ha dado una implementación de las propuestas investigativas, se puede evidenciar que el planteamiento inicial ya genera un impacto en la motivación y el interés de los estudiantes. Como evidencian las autoras, desde el planteamiento y planificación de una investigación, es posible el desarrollo de habilidades de carácter científico e investigativo, que fortalecen tanto la motivación como el pensamiento crítico de los estudiantes.

De ello, se deduce que en los estudiantes se va generando un cambio de postura no solo de la investigación en sí, sino de su propio proceso y su relación con este. Esta fase conlleva para ellos entonces un apersonamiento de su planteamiento y así mismo, la búsqueda de estrategias y soluciones que requieren para encaminar su trabajo de manera exitosa. De acuerdo con Cano (2009), en esta instancia se

“empieza a entender la planificación como estrategia de aprendizaje y se produce un cambio de actitud que les lleva a establecer el control en la realización de sus investigaciones y a asumir personalmente los problemas de investigación, que ahora sí adquieren sentido” (p 71).

De modo que no solo cambia el entendimiento de las implicaciones de investigar en biotecnología, sino que a través de la planeación de esta se desarrollan intrínsecamente habilidades y capacidades, en conjunto con las actitudes necesarias para ello.

7.3 Fase 3. Experimentación

Se inicia esta fase teniendo en cuenta las reflexiones anteriores como insumo, en las cuales los estudiantes, aunque tienen claridad de cómo encaminar su trabajo, solicitaban espacios de encuentros a modo de acompañamiento para solucionar

inquietudes de carácter procedimental y técnico frente a sus propuestas. Esto puede verse en expresiones como *“profe, la verdad me siento nerviosa por la parte experimental, creo que comprendo la teoría, pero como nunca he aplicado algo así, me preocupa no saber hacerlo”* (DCD), donde se hace evidente el reconocimiento por parte de los estudiantes de sus inquietudes frente a la ejecución de su investigación.

Teniendo en cuenta esto, se generaron espacios de capacitación para el uso de material de laboratorio y de seguridad en el mismo, de acuerdo a las solicitudes presentadas puesto que los estudiantes encontraban muchas particularidades que no habían contemplado en el diseño experimental, con comentarios que fueron plasmados en el diario de campo de la maestra (DCD), por ejemplo: *“ya tengo un protocolo, pero la verdad no sé cómo usar los materiales y me da miedo dañar algo”*, y *“la profe de química nos habló de las soluciones buffer, le entendí pero no sé cómo ejecutarlo en el laboratorio”*, por lo cual se decidió establecer diferentes capacitaciones para el uso de elementos de laboratorio y otra información que no encontraban en los artículos y documentos que habían consultado los estudiantes, reflexionando con ello que *“es importante dar pautas para la ejecución de los diseños experimentales, ejemplificando como hacer los diferentes procedimientos y dándoles la confianza de poder realizar el experimento sin mi intervención directa”* (DCD).

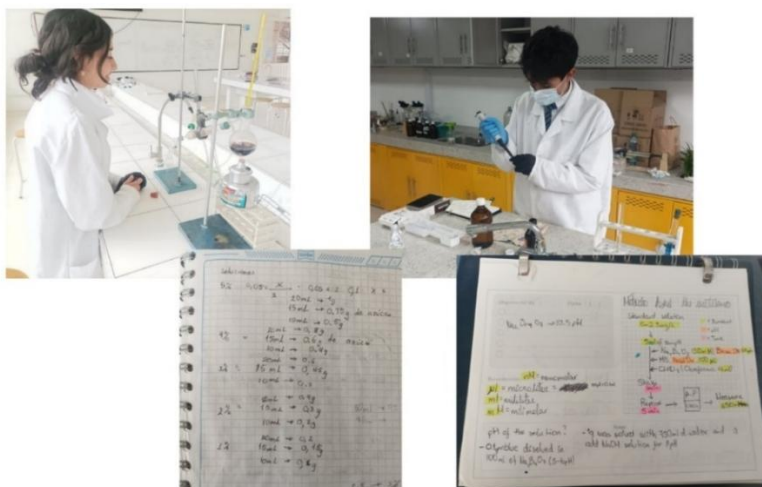
Posterior a ello, los estudiantes iniciaron los procesos experimentales propuestos en sus documentos, donde se realizaron sesiones de asesoría por parte de la maestra durante la ejecución de las prácticas. En esta instancia fue primordial el encontrar estrategias que permitieran el acompañamiento a los estudiantes durante los espacios de experimentación, sin interferir en sus procesos mientras que estos ejecutan sus propuestas del componente práctico de su investigación. Sino más bien *“brindar herramientas y motivar a los estudiantes a experimentar y aprender, aunque sea la primera vez que lleven a cabo las prácticas”* (DCD), en concordancia con Franco (2020), quien recalca que no se trata de

dar una lista de instrucciones que los estudiantes deben seguir, sino permitirles ser los protagonistas de su proceso, sin que se anticipe nada por parte del maestro. Evidencia de esto se da cuando los estudiantes comienzan a plantear inferencias durante los espacios de discusión informales o en el trabajo de laboratorio como: *“con esto busco obtener resultados que ayuden a encontrar una forma adecuada de degradar el PET y contribuir así a la biorremediación del ambiente”* (DCD), donde puede verse que durante la práctica ya existen expectativas y una proyección basada en la investigación del estudiante; también hay otros como: *“pude darme cuenta de que las algas son seres más complejos de lo que yo pensaba, y ver por qué son una gran opción para la biorremediación”* (DCD), donde se ejemplifica que los estudiantes a medida que obtienen sus resultados, infieren los posibles análisis y los relacionan con lo que han ido aprendiendo.

A continuación, en la figura 4 se muestran fotografías de dos estudiantes haciendo sus experimentos, así como páginas de registros de cuadernos de laboratorio que utilizaron para consignar información relevante para su investigación. Puede observarse su trabajo autónomo y el registro de protocolos y resultados.

Figura 4

Registro fotográfico de estudiantes en fase experimental y algunas notas de sus cuadernos de laboratorio



Nota. Fotos tomadas por la autora

Para finalizar esta fase después de terminar sus experimentos, se realizan encuentros individuales para llevar a cabo las reflexiones intermedias, de las cuales se presentan varios ejemplos en la tabla 5.

Tabla 5

Algunas reflexiones intermedias de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas

Competencias científicas	Unidades de análisis	
Competencias cognitivas y conceptuales	<p><i>Identificación de problemas científicos contextualizados</i></p> <p>“Una experiencia muy interesante sobre la experimentación y la importancia de entender conceptos clave, necesarios para el uso de bacterias para la degradación del plástico PET.” (ERin2)</p> <p>“Tras muchas investigaciones de mi experimento, pude direccionar mi investigación para trabajar centrándome en mi contexto local” (ERin4).</p>	<p><i>Comprensión de conceptos científicos</i></p> <p>“En general a la investigación ya se adjuntaron elementos clave de las bases teóricas para que yo pudiera permitirme experimentar.” (ERin3)</p> <p>“Para hacer uso de este método es importante tener presente la diferencia de puntos de ebullición del componente principal del sustrato, y la sustancia de interés, siendo estos agua y etanol respectivamente” (ERin4)</p>
Competencias procedimentales	<p><i>Planteamiento, diseño y ejecución de investigaciones</i></p> <p>“Otro factor importante puede ser la eficacia, porque cuando no tienes suficiente tiempo para experimentar te toca tomar formas donde puedas minimizar el tiempo para realizar el experimento, y un poco relacionado con esto va la creatividad.” (ERin5)</p> <p>“Fue retador, pero pude estandarizar mi metodología, ya que no encontraba demasiada información pues muchas industrias no publican las suyas”. (ERin4).</p>	<p><i>Interpretación de datos científicos</i></p> <p>“Observé una diferencia considerable entre el etanol producido por el control en comparación con las muestras con fruta, esto va acorde a la definición de fermentación secundaria en donde se afirma que la adición de otros ingredientes incide en cierta medida en el porcentaje de alcohol final.” (ERin4)</p> <p>“A veces no hay suficiente información de un tema como el mío, indagar fue un reto, pero pude encontrar documentos que me permitieran comparar mis resultados y así poder entender</p>

		qué estaba pasando en mi experimento". (ERin1)
Competencias actitudinales	<p>Pensamiento crítico</p> <p>“A lo largo de este avance he tenido que desarrollar habilidades como la toma rápida de decisiones, el análisis crítico, la búsqueda de fuentes confiables y el descarte de información innecesaria.” (ERin3)</p> <p>“Considero que he empezado a desarrollar habilidades como la tolerancia a la frustración y un pensamiento crítico a la hora de resolver problemas” (ERin4)</p>	<p>Comunicación científica y trabajo colaborativo</p> <p>“Nos ayudamos entre nosotros, ayuda a liberar esa carga un poco y genera un excelente ambiente donde nos divertimos haciendo lo que nos gusta, que es experimentar” (ERin5)</p> <p>“Pude aprender mucho de biorremediación, no solo por mi experimento sino por lo que me enseñaron mis compañeros mientras trabajábamos, aunque cada uno estuviera en lo suyo, nos explicábamos que estaba haciendo cada uno” (ERin2)</p>
Competencias CTSA	<p>Relaciones del conocimiento científico con la tecnología, sociedad y ambiente.</p> <p>“Uno los puede aplicar [los aprendizajes] al diario vivir, no solo desde dentro de un laboratorio, sino desde fuera de ello, ya sea a la hora de realizar otro tipo de investigaciones o incluso ser parte de la sociedad.” (ERin1)</p> <p>“Con el experimento mejoró mi comprensión de los microorganismos, me queda mucho más claro su rol en los procesos industriales y porqué son tan importantes” (ERin5).</p>	

Nota: Elaborado por la autora

A partir de lo expresado por los estudiantes, puede evidenciarse la importancia del proceso experimental en el desarrollo de las diferentes competencias. Si bien, inicialmente esto resulta más intuitivo con las relacionadas con lo procedimental, puede verse que la ejecución del trabajo de laboratorio trae consigo otros aportes para los estudiantes. En primera instancia, permite hacer conexiones lógicas de los conceptos teóricos, a poder verlos implementados en un contexto real y menos abstracto. Es así entonces que el trabajo práctico, en palabras de Rodríguez y Hernández (2015), “no se limita solo al aprendizaje de

procedimientos y desarrollo de habilidades técnicas. Separar el aprendizaje conceptual del metodológico no puede hacer más que debilitar el aprendizaje de ambos y posiblemente a contribuir a visiones deformadas de la ciencia” (p. 29), en este orden de ideas, la fase experimental del proyecto de investigación escolar permite enriquecer los conocimientos que los estudiantes desarrollaron en la fase anterior, como dan cuenta sus propias reflexiones.

De igual manera, el trabajo en laboratorio implica también el desarrollo de actitudes y posturas de los estudiantes, llevándolos a reflexionar y cuestionarse constantemente sobre su propio aprendizaje. Reflexiones tales como *“He aprendido que no siempre se van a tener resultados positivos, pero parte del proceso es investigar el por qué fallaron las cosas”* (DCD), lleva a darse cuenta de que más allá de una práctica considerada como exitosa o no, los momentos del trabajo práctico implican consideración constante por parte de los estudiantes acerca de lo que llevan a cabo en este espacio. De la mano, va el trabajo colaborativo y las interacciones con pares, que como puede evidenciarse en las reflexiones presentadas, destacan el aprendizaje en conjunto, el apoyo que se daban entre sí e incluso como esto aumentaba la motivación de ellos durante la fase. De manera similar, Rubio (2020) destaca el fortalecimiento del trabajo en grupo, de la comunicación y de las relaciones justas con los otros a partir de la investigación escolar conjunta. Lo que lleva a entender que, al compartir este tipo de espacios académicos, surgen dinámicas que permiten impulsar las interacciones entre pares en pro del trabajo colaborativo.

Asociado al cambio de posturas, durante las reflexiones pudo evidenciarse el establecimiento de unas mucho más cercanas entre lo observado en el laboratorio con sus implicaciones en contextos ambientales y sociales. Los estudiantes empezaban a considerar el impacto que tendría lo que estaban realizando en sus experimentaciones y permitía poner en tensión como lo que realizan no se queda enmarcado solo en el contexto

científico. De igual modo, González (2024b) reflexiona sobre el cambio de actitudes y posicionamiento de los estudiantes después de llevar a cabo los proyectos de investigación escolar, al afirmar que este es un espacio que permite “promover un sujeto que piensa críticamente, que usa la biotecnología para innovar y socializar en la resolución de problemas de relevancia para el momento histórico actual desde la CTSA” (p.8). Reflexiones similares son presentadas por Gómez (2021) y Martínez y Parga (2013), quienes también resaltan la emergencia de habilidades y pensamientos que van más allá de las competencias conceptuales y permiten tomar conciencia y posturas frente a diversas problemáticas.

7.4 Fase 4. Escritura y Socialización del trabajo

Una vez concluida la experimentación, los estudiantes en esta fase se dedicaron a terminar el documento escrito que debían entregar a la organización del bachillerato internacional como evidencia de su trabajo y experiencia; en el anexo 6 se presentan algunos ejemplos. Si bien ya habían iniciado con el documento desde la fase 2, es en este momento donde corrigieron lo adelantado, realizaron el análisis y conclusiones de sus experimentos, así como además la evaluación del proceso. En esta instancia, también la maestra brindó un acompañamiento en los diferentes espacios de reuniones informales acorde a las solicitudes particulares de los estudiantes a medida que avanzaban en su proceso escritural.

De estos encuentros, surgieron varios comentarios y reflexiones que demuestran la progresión frente a su capacidad de análisis y el pensamiento crítico de los estudiantes; se muestran algunos ejemplos que fueron consignados en el diario de campo de la maestra (DCD): *“en la redacción del documento he tenido dificultades por el uso de términos y conectores, se me ha dificultado también el uso de las normas APA”*, es importante tener

presente que si bien a ellos se les enseña esto desde diferentes asignaturas, pone en evidencia que en algunos casos, estos trabajos permiten el reconocer estas falencias pero también buscar estrategias puntuales para su solución. Además, se presentaron comentarios como *“quiero pulir el uso del lenguaje científico a medida que escribo, mejorar en el uso de palabras coloquiales porque a veces me cuesta expresar lo que he aprendido en términos más formales”*, donde puede evidenciarse el reconocimiento de la importancia del lenguaje científico para la divulgación de las investigaciones, en especial teniendo presente que no son muchos los espacios donde los estudiantes tienen ocasión de enfrentarse a un ejercicio de escritura formal de carácter científico. Las necesidades mencionadas también son resaltadas por López y Vargas (2025), quienes destacan en su investigación que sus estudiantes de bachillerato presentaban falencias en los escritos científicos como estructura inadecuada, falta de claridad y coherencia, y uso del lenguaje técnico.

Estas reflexiones sitúan a la maestra frente a las necesidades puntuales a nivel escritural de los estudiantes, donde se analiza que no solo es un asunto de cómo explicar y de que estrategias dar para mejorar la redacción científica, sino que emergen aquellas relacionadas con la redacción y la sintaxis: *“deben alternarse diferentes tipos de acompañamiento a los estudiantes acorde a las dificultades que van presentando. En ocasiones es más efectivo sentarse a leer sus avances en conjunto y dialogar con ellos lo que han escrito, en otras resulta más productivo para ellos el comentar en el documento para que ellos puedan hacer la revisión en su tiempo”* (DCD), aunque cabe resaltar que en general los estudiantes preferían la primera alternativa, pues les permitía seguir aclarando inquietudes que surgían frente a como plasmar en los documentos los resultados logrados, sus interpretaciones y análisis, así como las estrategias para llegar a ello. Todo esto fue tenido en cuenta, brindando herramientas integradas con base en lo mencionado para la

elaboración de los documentos, así como guías que permitan establecer un orden y criterios para la escritura. Sin embargo, también se presenta una oportunidad para realizar un trabajo integrado con otras disciplinas para que las estrategias educativas implementadas en la mejora de la redacción científica sean mucho más efectivas, en concordancia con lo encontrado por López y Vargas (2025).

Al finalizar este proceso de acompañamiento, se dio paso a terminar los documentos y realizar los encuentros individuales para llevar a cabo las reflexiones finales, de las cuales se presentan varios ejemplos en la tabla 6.

Tabla 6

Algunas reflexiones finales de los estudiantes de acuerdo con las competencias científicas

Competencias científicas	Unidades de análisis		
Competencias cognitivas y conceptuales	<p><i>Identificación de problemas científicos contextualizados</i></p> <p>“Pude cambiar mi perspectiva sobre el objetivo inicialmente planteado una vez conociendo de antemano las implicaciones que este puede tener a nivel productivo.” (ERf4)</p> <p>“La socialización de los datos y de los resultados fue gratificante independiente de lo observado ya que me dio visión con respecto a futuras investigaciones con respecto al mismo tema para corregir los errores de la investigación previa para así aprender de ellos y abrirme paso en otros campos similares de la biotecnología.” (ERf1)</p>		<p><i>Comprensión de conceptos científicos</i></p> <p>“También pude aplicar el análisis estadístico y comprender mejor cómo las matemáticas se relacionan con la biología.” (ERf2)</p> <p>“Evidencie una mejor comprensión de textos difíciles o largos como lo son textos científicos o revistas.” (ERf5)</p>
Competencias procedimentales	<p><i>Planteamiento, diseño y ejecución de investigaciones</i></p> <p>“El tiempo en el laboratorio me enseñó no solo técnicas específicas..., sino también la</p>	<p><i>Interpretación de datos científicos</i></p> <p>“Los resultados confirmaron la hipótesis inicial y me ayudaron a entender que la biodegradación sí puede</p>	<p><i>Análisis crítico y extracción de conclusiones</i></p> <p>“Al final, comprobar que la biorremediación con microalgas es una alternativa natural frente a</p>

	<p>importancia de mantener una actitud rigurosa en la recolección y el procesamiento de datos.” (ERf3)</p> <p>“Si pudiera realizar nuevamente la investigación, lo único que haría diferente sería tener más tiempo y hacer más repeticiones” (ERf5)</p>	<p>gestionarse, aunque sea un proceso lento” (ERf2)</p> <p>“A medida que iba explicando mi análisis estadístico, el ANOVA, pude demostrar que mis resultados no se debían al azar, sino que reflejaban un proceso real y significativo.” (ERf1)</p>	<p>la problemática de las aguas residuales significó un logro académico y personal que me motiva a seguir explorando.” (ERf3)</p> <p>“Esto da a entender que hay otros parámetros que pueden estar afectando la fermentación, no necesariamente siendo el porcentaje de glucosa sino características propias de la fruta como la acidez.” (ERf4)</p>
Competencias actitudinales	<p>Pensamiento crítico</p> <p>“Este proyecto no solo me enseñó sobre ciencia, sino también sobre el impacto que nuestras acciones pueden tener en el ambiente, y cómo desde el colegio podemos aportar a soluciones tanto locales como globales.” (ERf2)</p> <p>“Paciencia y resiliencia, sobre todo, porque es un proceso que toma bastante tiempo, y en ese tiempo estamos abiertos a cometer errores, pero esos errores son los que nos ayudan a llegar a ese resultado final, no solo del experimento, sino de realmente ser investigadores” (ERf5)</p>	<p>Comunicación científica y trabajo colaborativo</p> <p>“En este proceso habilidades como la paciencia y el trabajo colaborativo fueron claves pues me permitieron complementar mis conocimientos y a su vez sobrellevar las adversidades que se presentaban.” (ERf4)</p> <p>“Hicimos como uso de las habilidades de cada uno, porque a veces, como las investigaciones se cruzaban, digamos que yo aprendía de las investigaciones de, digamos, mi compañero, que iba muy relacionado con lo fito, entonces, aprendía cómo era mi experimento desde otra perspectiva” (ERf3).</p>	
Competencias CTSA	<p>Relaciones del conocimiento científico con la tecnología, sociedad y ambiente.</p> <p>“Mi investigación solo me dejó con ganas de seguir expandiendo mi conocimiento no solo para la mejora del entorno, sino que también para la mejora de nuestra sociedad y generar así un impacto verdadero.” (ERf1)</p> <p>“Esta experiencia reforzó mi compromiso con la sostenibilidad, al mostrarme que la ciencia puede generar soluciones reales y respetuosas con el entorno.” (ERf3)</p>		

Nota: Elaborado por la autora

En primera instancia, logra revelarse mediante las reflexiones realizadas que los estudiantes desarrollaron en gran medida las competencias cognitivas y conceptuales, dando cuenta de la apropiación e interrelaciones que hacen entre los términos vinculados a sus temas de investigación con los contextos en los que se están estudiando y aplicando;

al estar ellos mismos construyendo el conocimiento a medida que resuelven los problemas planteados. Esto es reportado también por Gómez (2021), Franco (2020) y Espinosa-Ríos, *et al.* (2016), quienes coinciden en que a medida que los estudiantes desarrollan su propia investigación, la apropiación de conceptos es mayor al ser ellos protagonistas de su aprendizaje.

Relativo a los aspectos procedimentales, en el diseño, planeación y ejecución de los experimentos puede evidenciarse una actitud mucho más reflexiva y autocrítica frente a los procesos llevados a cabo, mientras que, en la interpretación de datos científicos esto se hacía de manera más profunda; así como el análisis y conclusiones, que más allá de solo relatar las implicaciones hacia el fenómeno científico, vinculaban aspectos desde otras perspectivas como lo ambiental o lo industrial. Esto refleja el desarrollo del pensamiento crítico a la hora de interpretar y analizar los resultados, en la medida que este “hace que la producción y resultados de investigaciones sean cada vez más precisos y direccionados a resolver problemáticas de índole e incidencia mundial” (Mackay, *et al.*, 2018, p. 341), lo cual se ve representado constantemente a lo largo de las reflexiones y los documentos presentados por los estudiantes.

Frente a las competencias actitudinales, además de un notorio avance en las posturas críticas e informadas que fueron adoptadas por los estudiantes, durante la redacción del documento se destacó también el reconocimiento de la importancia de la divulgación científica, de manera similar a lo estudiado por Cano (2009), quien en su caso afirmó que “en cuanto a cómo conciben ahora el informe, parece que entienden su doble intencionalidad: comunicar a otros la tarea realizada, lo que se consigue en todos los casos, y reflexionar sobre el proceso seguido para extraer algunas conclusiones” (p.73), donde se resalta que más que solo comunicar, la redacción de documentos de carácter científico conlleva en sí mismo otras implicaciones. Muchas de estas reflexiones si bien se destacan

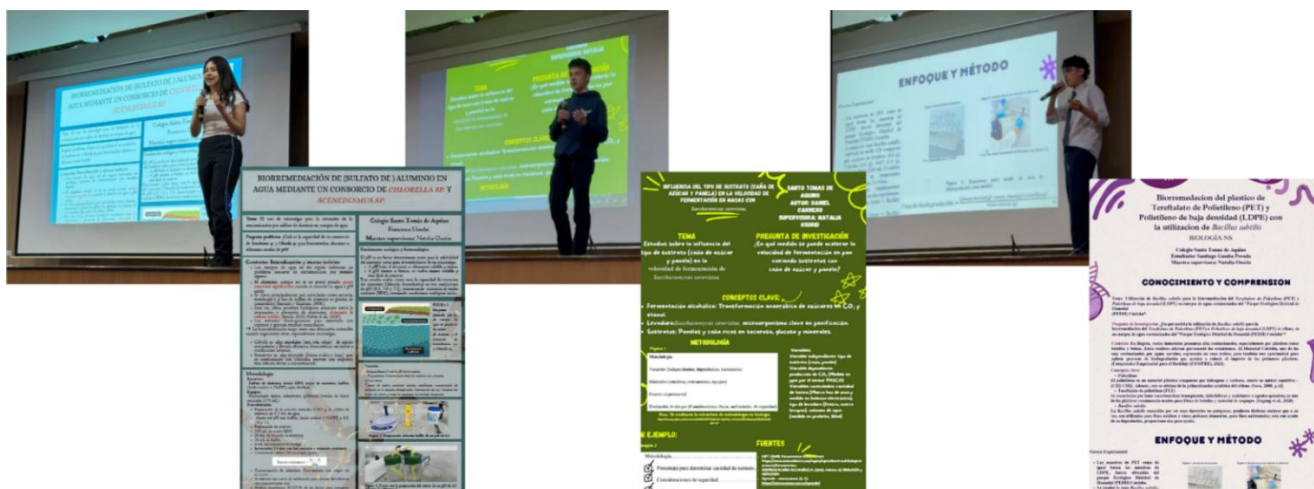
dentro del ámbito del conocimiento científico, también muestran el impacto positivo de la investigación escolar en la habilidad para trabajar en grupo, en el fortalecimiento de competencias de orden comunicativo, la autonomía y el pensamiento crítico; a través de lo cual los estudiantes no solo adquieren mejor entendimiento de los fenómenos, sino que además, están en capacidad de tomar una postura y defenderla, así como escuchar la de los demás de manera respetuosa (Silva, et al., 2023; Espinosa-Ríos, *et al.*, 2016).

Finalmente, con relación a la CTSA hay una clara noción de conciencia socioambiental a medida que se reflexiona sobre los impactos de las investigaciones realizadas, incluso presentando proyecciones a futuro. Esto impulsado particularmente por la motivación para investigar que generó en los estudiantes el trabajar con elementos que pertenecen a su realidad y su contexto, similar a lo encontrado por Murillo y Tirado (2020), quienes además de evidenciar lo mencionado previamente al discutir sobre el incremento en interés y dominio en los conocimientos científicos por parte de los estudiantes, también coinciden en los impactos de la CTSA en la formación de ciudadanos interesados por el conocimiento científico.

Para el cierre de la fase, ellos prepararon el material a socializar frente a los estudiantes de grado noveno, así como la maestra de la asignatura de monografía. Durante la jornada en cuestión, los jóvenes presentaron su trabajo en el auditorio de la institución, mostrando sus resultados, conclusiones y además reflexionando sobre todo el proceso de investigación que llevaron a cabo. Pueden observarse en la figura 5 algunos estudiantes con una muestra de cada póster empleado.

Figura 5

Registro fotográfico de estudiantes en socialización y fragmentos de sus correspondientes pósteres.



Nota. Fotografías tomadas por la autora.

Tras realizar esta presentación, se dialogó con los estudiantes para que mostraran su experiencia, a lo que algunos comentaron *“la divulgación del trabajo me gustó, puesto que era un tema del cual pude hablar con propiedad, con una visión mía propia, pero también sin dejar de lado lo científico y la investigación hecha”* y *“en términos de divulgación científica me pareció fundamental transmitir el porqué de mis resultados de forma clara para que incluso quienes no conocían el tema entendieran la importancia de lo que estaba presentando”* (DCD). Puede evidenciarse como no solo se muestra un conocimiento de los temas presentados, sino que la experiencia generó un aumento en su confianza y un reconocimiento en la importancia de la socialización de los resultados obtenidos en el curso de una investigación.

Esto es manifestado también por los estudiantes de noveno, quienes al dar retroalimentación resaltaban en general que evidenciaban el dominio del tema por parte de sus compañeros, así como confianza en sí mismos al presentar su trabajo y en algunos casos resaltaban incluso la capacidad de traer temas complejos a un público que no estaba

familiarizado con ello. Algunos de los comentarios registrados en el diario de campo (DCD) fueron: *“se notaba que de verdad le interesaba el tema y también que le gustaba mucho, la forma de presentar era muy clara y había mucho manejo, creo que es muy importante esa motivación para investigar”*, *“aunque se usaron palabras complicadas, se hizo entender y nos permitió entender la información que nos estaba presentando”* y *“pude ver que se enfrentaban a problemas reales y que tenemos muy cerca pero yo desconocía, esto [la socialización] es un aporte para que la comunidad también pueda aprender”*. De esta manera, se resalta entonces no solo la importancia de la divulgación científica sino las habilidades que desarrollaron los estudiantes para poder llevar a cabo la comunicación científica. Estrategias similares de socialización también fueron empleadas con resultados favorables por González (2024b), Gómez (2021) y Franco (2020), quienes de igual modo evidenciaron mejora en el uso del lenguaje científico, la argumentación y el dominio conceptual.

Tras la socialización, se dialogó con la maestra de monografía, quien en su momento también impartió esta asignatura a los estudiantes de grado once y trabajó con ellos la introducción a la investigación. Frente a sus nociones con relación a la evolución de las capacidades y habilidades de los estudiantes menciona *“ellos vienen acostumbrados a unas dinámicas diferentes, a unas prácticas diferentes, entendidas como lo básico...pero durante el desarrollo del trabajo, se percibe un interés mucho más grande por el desarrollo de la investigación”* (DCD) dando cuenta de los cambios actitudinales con respecto a la investigación y en general al cumplimiento de sus deberes académicos. También, resaltó la responsabilidad y el compromiso durante la fase experimental; así como la comprensión de los procedimientos al decir *“no es común ver a los estudiantes explicar sus procedimientos con tal claridad”* (DCD). Estas percepciones, coinciden con la maestra investigadora pues *“al hablar formalmente de su investigación, puede evidenciarse el*

aprendizaje comparando con el año pasado cuando iniciaron este proceso, hablan con apropiación de sus problemáticas y se muestran mucho más críticos respecto a cuando empezaron” (DCD).

Aunado a ello, la maestra de monografía resaltó: *“me gustó mucho ver la preocupación que tenían ellos frente a las problemáticas a nivel ecológico...se veían preocupados de que lo que estaban haciendo en su proceso experimental tuviera un impacto significativo a futuro o en procesos a gran escala”* (DCD), dando cuenta de las implicaciones e impactos de la investigación escolar, más allá del desarrollo de competencias conceptuales y procedimentales, en las actitudes y habilidades para el futuro, y de manera explícita las competencias CTSA.

Esto pone en evidencia que, al tener momentos de socialización, no solo se beneficia el público al tener un espacio de aprendizaje sobre investigar en biotecnología, sino que permite a los propios estudiantes investigadores fortalecer las habilidades desarrolladas al enfrentarse al reto de divulgar sus resultados, análisis y posturas frente a los problemas abordados en su trabajo. Estas particularidades también fueron planteadas en la investigación de Cano (2009), quien añade sobre la comunicación de los trabajos en formatos orales:

Aquellos contextos que provocan un fuerte grado de implicación intelectual y emocional, como es el caso de las actividades descritas, resultan favorecedores del avance en la síntesis y reorganización de sus ideas, ya que las actividades de comunicación requieren una actitud de compromiso y de interés personal y colectivo (p. 66).

Por lo anterior, como maestros debemos propiciar espacios de socialización de los trabajos realizados por los estudiantes.

7.5 Fase 5: Reflexiones finales de la maestra

En concordancia con la propuesta de investigar con los estudiantes, donde se hace una exploración conjunta y progresiva de las problemáticas a resolver donde “el rol del docente es el de un investigador que guía los procesos académicos” (Palencia, 2020, p.38), se hace necesario el revisar y evaluar las reflexiones hechas durante el proceso investigativo en busca de estrategias que permitan cumplir de manera adecuada este papel. Para ello, se toman como referencia algunas competencias desarrolladas por los maestros, mencionadas por Londoño y Luján (2020) que, si bien en este trabajo no se pretende evaluar el desarrollo de estas a lo largo de las fases, algunas se contemplan en las reflexiones de la maestra investigadora

Reconocer problemas en el contexto que se desempeña y proponer soluciones: para este particular, parte de las reflexiones permiten evidenciar las necesidades generales que se presentan para los estudiantes en el transcurso de la investigación, como por ejemplo cuando *“no siempre hay disponibilidad de todo el material que los estudiantes requieren lo cual implica que es necesaria una planeación exhaustiva pues muchas veces las experimentaciones reportadas en la literatura no pueden hacerse en un laboratorio escolar”* (DCD), esto resulta especialmente demandante cuando también se presentan limitaciones de tiempo no solo para llevar a cabo dicha planeación sino además para la ejecución de los trabajos experimentales. Esto requirió de la maestra creatividad y constante consulta de alternativas para poder asesorar a los estudiantes, dado que era vital para el avance el reconocer qué prácticas podían o no hacerse, y el identificar qué recursos había a su disposición y qué no era viable para la etapa en la que ellos se encontraban (fase 1 de la presente investigación).

Este tipo de retos son planteados en la misma medida por Chacón (2014) y Cano (2009), quienes también destacan la construcción de conocimiento por parte del docente al

enfrentarse a situaciones nuevas dentro de los procesos investigativos mientras se orienta a los estudiantes, fomentando la continua formación del docente pues debe haber indagación, revisión y consulta constante para poder conocer la naturaleza de las investigaciones a las cuales se va a acompañar. En esta misma línea, se contempla la importancia de trabajar con el tiempo adecuado para afrontar los desafíos de las investigaciones, sobre todo en sus fases iniciales y para guiar adecuadamente a los estudiantes en estas etapas. El desarrollar estas habilidades durante la investigación escolar con los estudiantes resulta especialmente relevante al tener en cuenta los hallazgos de Aular de Durán, *et al.* (2009) quienes resaltan el poco desarrollo de las competencias en maestros por “la falta de capacitación para desarrollar programas, planes y proyectos de investigación así como para analizar, comprender y emitir juicios críticos acerca de la realidad en el entorno educativo” (p. 154), lo que refuerza la necesidad de la transformación de la práctica para reconocer las problemáticas que emergen y proponer soluciones a partir de estrategias resultado de la investigación.

Someter a crítica la práctica pedagógica y mejorar su desempeño: esta capacidad resulta clave dentro del proceso de la transformación de la práctica docente a partir de las continuas reflexiones, como proponen Domingo (2021) y Chacón (2014), puesto que es a partir de estas se ponen en evidencia los requerimientos de los estudiantes y se abre el espacio para proponer estrategias de mejora. Para ello, antes de la observación, se requiere que el maestro tenga mente abierta y disposición para ser autocrítico frente a sus propios desempeños, lo que implica en sí mismo el desarrollo de pensamiento crítico para lograrlo. En el caso de la maestra, fue evidente la necesidad de modificar la forma en la que se ejecutó la tercera fase, en la medida que en varias conversaciones con los alumnos y reflexiones de la maestra, surgieron inquietudes como *“dar pautas para la elaboración de los diseños experimentales”*, *“buscar estrategias para*

que los estudiantes mejoren su confianza en el laboratorio” y “se hace necesario capacitarlos para que tengan mejor comprensión sobre los materiales y técnicas necesarias para sus prácticas” (DCD), poniendo en evidencia que, aunque esto no estaba contemplado inicialmente para la fase experimental, el reconocer las necesidades de los estudiantes requirió buscar alternativas que permitieran solventar las limitaciones que iban surgiendo a lo largo del asesoramiento. De no realizar los procesos constantes de reflexión sobre la práctica, impediría poder adoptar estrategias que respondan a tiempo a las necesidades presentadas.

Pese a ser una competencia importante, no siempre está desarrollada en los docentes, y como mencionan Aular de Durán, *et al.* (2009), conlleva “a limitar su capacidad de reconocer necesidades de innovación educativa y a mantener una actitud desfavorable en relación a su aprendizaje en las diferentes situaciones que se le presentan” (p. 155), poniendo entonces en consideración el cómo la reflexión debe ser no solo continua, sino realizada con el propósito de transformar las prácticas y realidades a las que se enfrenta el maestro en su quehacer diario.

Comprender como se construye el conocimiento científico: esta capacidad, según Londoño y Luján (2020), se encuentra entre las que menos están desarrolladas por los docentes pues su rol de acompañante no se lo exige; lo que coincide con lo reportado por Aular de Durán, *et al.* (2009) en la medida que muchos docentes no consideran esencial este aspecto para los procesos de enseñanza y el diseño de estrategias para ello. Sin embargo, a lo largo del proceso de co-investigación de la maestra, si se presentan reflexiones relativas a ello, en especial desde la perspectiva de la metodología que permitiera guiar a los estudiantes en la comprensión de los problemas abordados, así como el planteamiento de las soluciones para estos de modo que sean ellos protagonistas de estos procesos. Esto se muestra en el siguiente ejemplo: “*me sorprendió que no me dijiste*

como hacer todo, pero eso me permitió resolver los problemas y buscar alternativas, me llevó a investigar por mi cuenta, sabiendo que igual podía consultarte mis inquietudes” (ERf4), donde se hace claro que aunque inicialmente la estudiante esperaba que la maestra asumiera posturas de enseñanza tradicional, eventualmente reconoce las ventajas que le trajo el tener un rol activo puesto que esto no implica que faltaría la guía y apoyo por parte de su tutora.

A partir de esto, surgen inquietudes frente a aspectos como *“la necesidad de una orientación que no implique depositar el conocimiento en los estudiantes, sino que el acompañamiento los vaya llevando a abordar paulatinamente las cuestiones a investigar, y a construir el conocimiento requerido para ello”* (DCD). Lo que no solo representa el proponer estrategias, sino que se convierte en un espacio propicio para la propia investigación del maestro, pues al entender el conocimiento científico y como se construye, se pueden usar estos saberes en la toma de decisiones y comprensión del contexto de los estudiantes para lograr un acompañamiento más cercano (Valle, *et al.*, 2022).

Si bien dentro de este ejercicio no emergen reflexiones sobre el desarrollo la capacidad para utilizar el lenguaje científico, identificar problemas y analizar preguntas por parte del maestro, estas se emplean de manera inherente durante todo el proceso de orientación a los estudiantes, puesto que, al investigar con ellos, se hizo necesario su uso en la medida que se les enseñó y se les dieron estrategias relacionadas con estas capacidades a lo largo de las fases de investigación. Muchas veces a través de la ejemplificación o mediante un andamiaje generado a través de compartirles esquemas o moldes que podían seguir para desarrollar su propio trabajo. Es importante recalcar que, aunque se particularizaron algunas capacidades del maestro frente a la investigación, estas se desarrollan en conjunto como pudo evidenciarse en reflexiones que abordaban más de

un aspecto al momento de evaluar cómo transformar la práctica docente dentro de un ejercicio autocrítico.

De la mano de ello, merece la pena evaluar el impacto del acompañamiento de la maestra al trabajo de los estudiantes durante la investigación conjunta, pues esto también condiciona la viabilidad de la investigación escolar como estrategia didáctica y a su vez podría condicionar la forma en la que se desarrollaron las competencias. Si bien algunas implicaciones fueron evaluadas de forma positiva en los trabajos de González (2024b), Gómez (2021) y Franco (2020), se realiza más enfocado hacia el estudiante y no se contempla a profundidad las implicaciones en la práctica del maestro ni en la investigación de este con sus estudiantes. Desde la perspectiva de estos últimos, destacó dentro del asesoramiento la utilidad de las herramientas brindadas, las orientaciones frente a como buscar fuentes confiables de información, plantear las preguntas de investigación, llevar a cabo las prácticas de laboratorio y el apoyo en la lectura de artículos científicos: *“me brindaste mucho material y me explicaste como poderlo usar sin necesidad de darnos todas las respuestas, nos brindaste suficientes herramientas que nos permitieron avanzar tanto”* (ERi2).

Así mismo, resaltan los ajustes al tipo de guía brindada a los estudiantes durante etapas posteriores de la investigación, de acuerdo a las particularidades de cada uno. Recordando de este modo qué, más allá de requerirse simples pasos a seguir para orientar la investigación, el maestro debe cambiar totalmente su postura de “administrador de contenidos a líder y gestor de conocimiento, guía y compañero de investigación más experimentado” (Londoño y Luján, 2020, p.50), siendo entonces el referente que establece las pautas para que los estudiantes puedan construir su propio conocimiento a partir del tutelaje brindado y su propia observación, indagación y análisis de los fenómenos estudiados.

Finalmente, dentro del ejercicio de reflexión docente, se requiere evaluar el proceso en su totalidad para analizar las implicaciones de la investigación escolar en biotecnología al proponerla como una estrategia didáctica. En primera instancia, gracias a lo observado por la maestra a lo largo del proceso, se considera cómo las temáticas de la biotecnología permiten acercarse a aspectos más allá de lo científico a la hora de investigar en ella, al abordarla desde lo contemporáneo se están considerando otras perspectivas que permiten vincular aspectos tecnológicos, ambientales, sociales, y con ello profundizar el entendimiento de sus implicaciones (González, 2024b; Franco, 2020). Esto no solo se queda en una revisión teórica, dado que el proceso de investigación acercó de primera mano a los estudiantes al entendimiento de la biotecnología desde su contexto, sino que permite que sea un proceso significativo para ellos al hacerles sentir más involucrados con el trabajo, y además los lleva a tener mayor consideración sobre la interrelación que se da entre los diversos aspectos que impacta la biotecnología, al estar situada en sus realidades próximas. Lo anterior, se muestra con los estudiantes al querer indagar, desde la rama ambiental sobre cuerpos de agua locales y sus problemáticas, y desde la rama industrial considerando las necesidades e intereses de los colombianos sobre los procesos y productos trabajados.

Aunado a ello, la presente investigación llevó a los estudiantes a la toma de posturas críticas y fundamentadas, puesto que a partir de las situaciones concretas que cada uno exploró en su trabajo involucraron distintos impactos de la biotecnología en la sociedad y el ambiente. Además, al momento en que los estudiantes concluían sobre su investigación, no lo hacían solo desde el fenómeno científico, sino que tomaban a consideración otros aspectos, poniendo en evidencia su desarrollada capacidad de una participación responsable frente a situaciones problemáticas y en algunos casos incluso controversiales, en concordancia a lo expresado por Ocelli, *et al.*, (2018) y Espinel y Valbuena (2017);

dando cuenta de su capacidad de reconocer no solo las bondades de la biotecnología, sino que también sus limitaciones.

De igual importancia, la investigación en biotecnología permite abordar otro de los retos presentados en la escuela frente a como brindar herramientas a los estudiantes para comprender el contenido científico que se difunde en diversos medios de comunicación sin caer en reduccionismos de estos, lo cual es particularmente recurrente en esta área de estudio (Roa, *et al.*, 2019). Al incluir espacios de divulgación tanto escrita como oral, no solo se profundiza en el conocimiento, pues como se revisó en segmentos anteriores la socialización de la información permite mayor dominio conceptual y mejor argumentación; a la vez posibilita fortalecer la comunicación para que la comprensión no quede solo en el investigador, sino que pueda ser compartida con el público.

Aun cuando los estudiantes no tengan proyección profesional como científicos, sino que sus intereses profesionales se deriven en otras ramas, el haber realizado investigación escolar en biotecnología permitirá desde lo conceptual y desde su propio pensamiento crítico, el comprender la raíz de las polémicas alrededor de estos temas. En adición, el dar las herramientas desde la escuela podría tener el potencial de democratizar estas discusiones al formar futuros ciudadanos capaces de posicionarse frente a estos debates, independientemente de su formación universitaria.

Es importante recordar que una implicación que se ha trabajado a lo largo de la presente investigación es el desarrollo de habilidades, capacidades y actitudes a través de la investigación en biotecnología. En este sentido, se hace una revisión a la progresión del desarrollo de las competencias científicas como componente observable que tiene sobre el aprendizaje el contemplarla como estrategia didáctica. Para ejemplificar, en la tabla 7 se presenta una matriz de evolución con el caso de una estudiante, donde se observa su

progreso a través de las reflexiones de la maestra a lo largo de las fases propuestas, acorde a lo observado y trabajado durante estas instancias. Las anotaciones corresponden a los momentos posteriores a las entrevistas formales realizadas en cada fase.

Tabla 7 Matriz de progresión de las competencias científicas en la estudiante 4.

Competencias científicas	Fase 2. Diseño del proyecto	Fase 3. Experimentación	Fase 4. Escritura y Socialización del trabajo
Competencias cognitivas y conceptuales	Reconoce algunos conceptos clave, delimita el contexto de su investigación biotecnológica en el ámbito científico.	Fortalece la comprensión de los conceptos biotecnológicos y empieza a vincularlos con la práctica experimental, buscando darles contexto.	Tiene un amplio dominio de los conceptos trabajados en su investigación, viéndolos incluso desde perspectivas que no había considerado al inicio de la investigación, permitiéndole vincular lo teórico con lo práctico en la biotecnología.
Competencias procedimentales	Contempla un montaje inicial, acorde a las variables a manipular, aunque investiga sobre los procesos a llevar a cabo, no describe las metodologías para ello.	Posterior a las capacitaciones y orientaciones, estandariza su metodología tras varios ajustes y muestra un gran entendimiento de esta, proponiendo interpretaciones a los resultados que va obteniendo.	Demostó habilidades procedimentales y gran entendimiento de las prácticas realizadas, así como su propósito dentro de la investigación. También, la capacidad de análisis de los resultados obtenidos no solo desde la teoría sino desde otras consideraciones metodológicas.
Competencias actitudinales	Demuestra motivación y curiosidad por la investigación en biotecnología gracias a las discusiones en centros de interés. Se da cuenta de la importancia de la autonomía.	Reconoce en sí misma habilidades como la resiliencia, tolerancia a la frustración y el pensamiento crítico para la resolución de problemas, contextualizándolo en la biotecnología.	Reconoce estar más abierta a nuevas interpretaciones de los fenómenos, entendiendo que la investigación en biotecnología no solo contempla aspectos científicos; lo que le permitió ser más versátil a la hora de necesitar "reinventarse" en la resolución de problemas. Parte de ello se debió al

			trabajo colaborativo y los espacios de discusión.
Competencias CTSA	Entiende que hay implicaciones de su investigación con la biotecnología industrial, pero no contempla otras.	Se plantea implicaciones ambientales de su proceso frente al manejo de residuos y prácticas responsables en el laboratorio, además de trabajar en procesos que están enfocados en favorecer el uso de microorganismos en su cotidianidad, reconociendo la biotecnología en su contexto.	Menciona la importancia de investigar en biotecnología industrial para entender los fenómenos desde el laboratorio con una perspectiva sostenible, proyectando su potencial de escalado a nivel industrial para tener mejores prácticas; atendiendo a los diferentes impactos que puede tener la biotecnología en diferentes ámbitos.

Nota. Elaborado por la autora

Como se observa en la tabla 7, de manera general se puede apreciar una complejización de las competencias científicas a medida que transcurren las diferentes fases de trabajo. Así mismo, se muestran procesos cada vez más interrelacionados, donde las competencias parecen complementarse entre sí, al presentarse aspectos de más de una de ellas en la evaluación cualitativa del desempeño de la estudiante, en concordancia con lo expresado por Cañal (2012) frente al desarrollo integrado de las capacidades. A su vez, no solo se limita a estas capacidades y habilidades, se evidencia constantemente el cómo los estudiantes hacen relaciones con otros conceptos científicos y no científicos, a un nivel de complejidad que aumenta a lo largo de las fases implementadas.

De igual modo, se observa un cambio considerable frente a las posturas discutidas durante el conversatorio inicial, permitiendo denotar un desarrollo de conceptos que se presentaban de manera básica al evaluar los conocimientos previos como por ejemplo qué es investigar. Así mismo, se puede dilucidar una profundización en otros aspectos que inicialmente se presentaron de manera superficial, en especial los relacionados con las

implicaciones CTSA, donde en algunos casos eran apenas mencionados, pero al finalizar la investigación se demostró un reconocimiento notorio frente a los impactos de la biotecnología y las interrelaciones que se presentan con otros ámbitos que inicialmente no parecían relevantes para los estudiantes.

8. Conclusiones

1. Mediante la revisión de aportes de diferentes autores, se construye una aproximación a las competencias científicas desde lo conceptual-cognitivo, procedimental, actitudinal e implicaciones CTSA, al considerarse los aspectos más importantes a desarrollar en el contexto de la investigación escolar en biotecnología. Esto no implica el desconocimiento del desarrollo de otras competencias científicas, pues se reconoce que estas ocurren de manera integrada, simplemente no son estudiadas de manera explícita en el presente trabajo. Se considera que la evaluación de las seleccionadas permite aproximarse al como la investigación escolar en biotecnología propicia el desarrollo de diferentes tipos de habilidades, capacidades y actitudes.
2. Dentro de la competencia cognitiva-conceptual se contemplaron la comprensión de conceptos científicos, así como la identificación de problemas científicos contextualizados. Durante el desarrollo de las diferentes fases propuestas para la investigación, en los estudiantes no solo se evidenciaron apropiación de los conceptos que eran relevantes para cada una de sus temáticas, sino que presentaron interrelaciones entre estos y generaron conexiones con aspectos que no habían considerado al inicio de la investigación. Así mismo, se evidenció construcción de nuevo conocimiento por parte de los estudiantes al comparar su progreso durante la investigación, al ser capaces de situar las problemáticas en sus propios contextos y entender el papel de la biotecnología en estos.
3. Referente a la competencia procedimental, a partir del diseño de cada proyecto, en los estudiantes se evidenció un avance considerable. Teniendo presente que inician la segunda fase manifestando poca comprensión de las implicaciones metodológicas, técnicas e instrumentales de su trabajo, a lo largo del mismo y con

acompañamiento de la maestra, desarrollaron las competencias relacionadas con el planteamiento, diseño y ejecución de investigaciones. Gracias a esto, se potenció no solo mejor desempeño en el laboratorio, sino que aumentó la motivación y la confianza en sí mismos a la hora de desempeñarse en el trabajo práctico. Respecto a la interpretación de resultados, análisis crítico y extracción de conclusiones, se observó que su ocurrencia fue más tardía y condicionada a la discusión entre pares, así como la verificación con la maestra. Sin embargo, esto también permitió que se hiciera en el marco de contemplar otras posturas y se entendiera la importancia de una mente abierta a la hora de evaluar diferentes puntos de vista.

4. Dentro de la competencia actitudinal se destacó el desarrollo del pensamiento crítico, no solo como se referenció en puntos anteriores, sino también para los ejercicios reflexivos llevados a cabo por los estudiantes. Esto implicó un reconocimiento de las habilidades y actitudes que se fueron desarrollando o adquiriendo a lo largo de la investigación. Los estudiantes resaltaron de manera reiterativa la paciencia, la resiliencia, la tolerancia a la frustración; debido al reconocimiento de la posibilidad de fallar, pero a su vez entendiendo la connotación del aprendizaje reflexivo a partir de resultados diferentes a los esperados. En igual medida, se destacó el trabajo colaborativo y la comunicación entre pares, estableciéndose como habilidades que potenciaron el desempeño de los estudiantes y la empatía, en especial teniendo en cuenta que las investigaciones eran de carácter individual pero los estudiantes decidieron apoyarse entre sí.
5. Frente a las competencias para las implicaciones CSTA, es donde se evidenció un mayor desarrollo, teniendo en cuenta que durante el conversatorio inicial los estudiantes hacían menciones ocasionales de cualquier implicación sin mayor reconocimiento de los alcances e impactos de la biotecnología. Mediante el estudio contextualizado de esta, los estudiantes pudieron acercarse a diferentes incidencias

que emergían a través de observar el fenómeno desde aspectos concretos y cercanos a su realidad. Mediante esta aproximación, ellos comprendieron que la biotecnología tiene relación con distintos campos y que reconocer esto es sumamente importante para entender sus alcances, sus bondades y sus limitaciones.

6. Al ser una investigación del maestro con los estudiantes, se cambia el enfoque de investigar como aprenden los estudiantes para tomar un papel de trabajo conjunto con ellos, asumiendo un rol orientador que va más allá de brindar conocimientos. Para ello, es esencial y necesario la reflexión sobre la práctica docente, puesto que se requiere evaluación continua del quehacer, de modo que se pueda atender a las necesidades cambiantes que se presentan a lo largo de la investigación. La capacidad de identificar problemáticas en el contexto educativo y poder dar solución a estas es esencial puesto que, al participar como coinvestigador, es tarea del maestro propiciar espacios y acompañamiento ajustados a la naturaleza cambiante de los proyectos de investigación.
7. El maestro requiere una mente abierta para someter a crítica su propia práctica y mejorar su desempeño frente a la enseñanza, en el contexto de la investigación escolar también implica el entender cómo se construye el conocimiento científico pues debe poder guiar a los estudiantes en este proceso, encontrando las herramientas que van necesitando y ajustando el curso del proyecto de investigación según vea prudente para facilitar el acompañamiento sin entrar en prácticas tradicionales que sitúan al estudiante en un rol pasivo.
8. La reflexión del maestro también implica el reconocimiento del contexto educativo cambiante, siendo de vital importancia no solo para nutrir la relación con los estudiantes durante la investigación, sino que permite también evidenciar posibles problemas que puedan surgir y así mismo proponer soluciones viables que permitan

el correcto desarrollo de la práctica. Entendiendo que los entornos son variables y las limitantes que pueden surgir son de varias naturalezas, el maestro debe poder tomar posturas dinámicas que faciliten el desempeño de los diferentes actores dentro del proceso investigativo.

9. La investigación escolar en biotecnología como estrategia didáctica permite abordarla de manera práctica, contextualizada y desde lo contemporáneo, alejándose de una mera presentación de contenidos y técnicas a la vez que permite acercarse a perspectivas distintas a la científica tradicional. Es así que se trabaja de manera recurrente con aspectos y dimensiones que no se limitan a la ciencia y tecnología, dando lugar a un aprendizaje significativo y una visión holística de la biotecnología, favoreciendo la toma de posturas críticas y posibilitando la participación ciudadana en debates relacionados a controversias socio-científicas y aplicaciones bioéticas controversiales.
10. La inclusión de la investigación escolar en el aula como estrategia permite aproximaciones a la enseñanza de la ciencia donde el estudiante es el protagonista de su proceso de aprendizaje, dado a que al abordar contenidos de biotecnología no solo se abarcan conocimientos científicos, sino que ocurre un acercamiento a otras implicaciones de carácter ambiental, social, ético, económico, político, entre otras. Esto contribuye a la formación de ciudadanos que tengan la capacidad de participar en discusiones que presenten controversias y polémicas alrededor de avances biotecnológicos, dando habilidades como la indagación y el pensamiento crítico para ello.
11. Teniendo en cuenta que el entendimiento de la biotecnología se basa en las preconcepciones y los conocimientos previos, resulta de gran utilidad contemplar estos para dar inicio a un proyecto de investigación escolar, puesto que brindan insumos al maestro respecto a las posturas y comprensión que tienen los

estudiantes y permiten así abordarla desde su contexto e intereses, haciendo del aprendizaje una experiencia significativa para ellos. Si bien pueden presentarse gran variedad de perspectivas al inicio y durante la investigación, estas podrán enriquecerse o inclusive transformarse en el transcurso del trabajo, dando cuenta de la construcción de nuevas interrelaciones de conceptos y el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes gracias al proceso investigativo.

9. Recomendaciones

Dadas las limitaciones presentadas en el desarrollo del trabajo, se recomienda lo siguiente:

1. Teniendo en cuenta el tiempo designado para la investigación durante los grados 10° y 11°, se recomienda que en clase de monografía de grado 9° puedan presentarse los campos donde impacta la biotecnología, para que los estudiantes cuenten con más información y herramientas que les permita realizar la investigación escolar según sus intereses.
2. Establecer acuerdos con la institución respecto a los tiempos de trabajo de los estudiantes y el maestro, teniendo en cuenta los espacios necesarios para la consulta, la realización de prácticas experimentales y construcción de documentos escritos, así como las tutorías y momentos de revisión. Puede explorarse un semillero de investigación en biotecnología para permitir dichos espacios sin interferir con los momentos académicos de los estudiantes y los maestros.
3. Considerar en conjunto con la institución la posibilidad de la compra de más insumos por parte de esta última para el desarrollo de la fase experimental, teniendo en cuenta que la poca disponibilidad de reactivos y material generó demoras en la ejecución de esta fase; y que esto no solo representa una necesidad para estos proyectos de investigación, sino que es importante para el desarrollo del currículo de biología del Programa del Diploma implementado en el colegio.

Referencias

- Andreu, J. (2002). *Las técnicas de análisis de contenido: una revisión actualizada*.
Fundación Centro de Estudios Andaluces.
- Aparicio Gómez, O. Y. (2018). La investigación escolar. *Revista Interamericana De Investigación Educación Y Pedagogía RIIEP*, 11(2), 121-133.
<https://doi.org/10.15332/s1657-107X.2018.0002.08>
- Arenas, B., Toro Díaz, J., & Vidarte Claros, J. A. (2000). Concepto de investigación. *Revista Ánfora*, 8(15), 87–90.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6138488>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica* (Sexta edición). Editorial Episteme.
- Aular de Durán, J., Marcano, N., & Moronta, M. (2009). Competencias investigativas del docente de educación básica. *Laurus*, 15(30), 138-165.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76120651007>
- Barragán, J. y González, I. (2020). El papel e importancia de la investigación educativa. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 15(1)127-141
[http://www.spentamexico.org/v15-n1/A8.15\(1\)127-141.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n1/A8.15(1)127-141.pdf)
- Barrero Espinosa, C., Bohórquez Agudelo, L., & Mejía Pachón, M. P. (2011). La hermenéutica en el desarrollo de la investigación educativa en el siglo XXI. *Itinerario Educativo*, 25(57), 101–120. <https://doi.org/10.21500/01212753.1436>
- Bedoya Ospina, L. P. (2016). *Diseño de una estrategia didáctica basada en la programación de juegos, utilizando herramientas ofimáticas para la enseñanza de conceptos de biotecnología y el desarrollo de competencias comunicativas*

[Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59418>

Brossard, D. (2019). La biotecnología, la comunicación y el público: Algunas claves para profundizar en la percepción social de la ciencia. *Metode Science Studies Journal*, (9), 39-45. <http://dx.doi.org/10.7203/metode.9.11347>

Cano Martínez, M.I. (2009). La investigación escolar: un asunto de enseñanza y aprendizaje en la Educación Secundaria. *Revista Investigación en la Escuela*, (67), 63-79. <http://hdl.handle.net/11441/60839>

Cañal, P. (2012). ¿Cómo evaluar la competencia científica? *Revista Investigación En La Escuela*, (78), 5–17. <https://doi.org/10.12795/IE.2012.i78.01>

Ceballos, G. (2018). *La investigación escolar soportada en la ciencia ficción para la enseñanza aprendizaje de genética*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Biblioteca UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/8887>

Chacón, R. S. (2014). Del maestro como investigador: ¿reto y necesidad? *Itinerario Educativo*, (64), 249-257. <https://doi.org/10.21500/01212753.1430>

Colegio Santo Tomás de Aquino [CSTA]. (2024). *Horizonte Institucional*. <https://www.santotomas.edu.co/horizonte-institucional/>

Convenio sobre la Diversidad Biológica. (1992). Organización de las Naciones Unidas, <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

De la Vega-Naranjo M., Lorca-Marín A.A., De las Heras-Pérez M.A. (2018). Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación*

de las Ciencias, 15(3), 3301.

https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3301

Domingo, A., (2021). La Práctica Reflexiva: un modelo transformador de la praxis docente.

Zona Próxima, (34), 1-21. <https://doi.org/10.14482/zp.34.370.71>

Espinel Barrero, N. E. (2020). *Conocimientos sobre la Biotecnología y didáctico del contenido de dos profesores de Bogotá: un estudio de caso múltiple*. [Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional UPN.

<http://hdl.handle.net/20.500.12209/12619>

Espinel Barrero, N. E., & Valbuena Ussa, E O. (2017). ¿Qué contenido de biotecnología enseñar en la escuela? Propuesta de una hipótesis de progresión. *Bio-grafía*,

10(19), 448–460. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7135>

Espinosa-Ríos, E.A., González-López, K.D., & Hernández-Ramírez, L.T. (2016). Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar. *Entramado*, 12 (1), 266-281.

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23125>

Fernández Chaves, F. (2002). El análisis de contenido como ayuda metodológica para la investigación. *Revista de Ciencias Sociales*, 96, 35-53.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/sociales/article/view/56388>

Franco-Mariscal, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria.

Enseñanza De Las Ciencias. Revista De investigación Y Experiencias didácticas, 33(2), 231–252. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>

- Franco Senior, Z. V. (2020). La biotecnología como estrategia pedagógica en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales en básica secundaria. *Revista Q*, 11(22), 94–102. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/8109>
- Gaetán, R. A. (2021). *Las propuestas educativas para la enseñanza de la biotecnología en la escuela secundaria presentes en los portales educativos de RELPE* [Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio digital UNC. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/19303>
- García Contreras, G. A., & Ladino, Y. (2008). Desarrollo de competencias científicas a través de una estrategia de enseñanza y aprendizaje por investigación. *Studiositas*, 3(3), 7–16. <http://hdl.handle.net/10983/533>
- Gómez-Daza, S., Fúquene-Bárcenas, J. A., Hernández-Manosalva, A. P. y Triana-Luengas, E. A. (2024). Conocimiento didáctico del contenido de la biotecnología en maestros colombianos y sus tendencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (55), 63–82. <https://doi.org/10.17227/ted.num55-17442>
- Gómez Daza, S. (2021). Relato sobre estrategias de enseñanza para desarrollar habilidades de pensamiento y educar en valores. *Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas*, 1(33), 133–142. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i33.239>
- González Tovar, S. L. (2024a). Finalidades del Conocimiento Escolar que promueve un Modelo de Investigación Escolar para la enseñanza de la biotecnología. *Bio-grafía*, 16 (Extraordinario). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/20683>

- González Tovar, S. L. (2024b). Una experiencia educativa desde la enseñanza de la biotecnología en educación media. *Bio-grafía*, 16 (Extraordinario).
<https://revistas.upn.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/20684>
- Gutiérrez Curipoma, C. N., Narvárez Ocampo, M. E., Castillo Cajilima, D. P., & Tapia Peralta, S. R. (2023). Metodologías activas en el proceso de enseñanza-aprendizaje: implicaciones y beneficios. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 3311-3327. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6409
- Hernández, R., & Moreno, S. (2021). Formación de maestros investigadores: un reto para la universidad de hoy. *Revista Habitus: Semilleros de Investigación*, 1(1), 1-21.
<https://doi.org/10.19053/22158391.12671>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Hroncich, C. (2021). *La biotecnología en el aula*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. <https://www.conicet.gov.ar/la-biotecnologia-en-el-aula/>
- International Baccalaureate Organization [IBO]. (2024). *Biología*. Programa del Diploma.
<https://www.ibo.org/es/programmes/diploma-programme/curriculum/sciences/biology/>
- International Baccalaureate Organization [IBO]. (2023). *Guía de Biología. Primera evaluación 2025*. Programa del Diploma.
- Jiménez Jiménez, L y Loaiza Sierra, J. (2019). *Semillero de investigación como estrategia pedagógica para fortalecer la competencia de indagación en el área de ciencias naturales*. Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6010>

- Londoño Vásquez, D. A., & Luján Villegas, D. M. (2020). Competencias científicas en maestros de la ciudad de Medellín: un análisis desde la formación docente. *Cultura Educación Y Sociedad*, 11(1), 39–54.
<https://doi.org/10.17981/culteduc.11.1.2020.03>
- López Jara, A. A., & Vargas Cuenca, G. M. (2025). Diseño de estrategias didácticas para promover la redacción científica en estudiantes de bachillerato. *Revista Uniandes Episteme*, 12(1), 4–18. <https://doi.org/10.61154/rue.v12i1.3596>
- Luján-Villegas, D. M., & Londoño-Vásquez, D. A. (2020). La investigación escolar en educación básica para el desarrollo de competencias científicas en docentes. *Praxis*, 16(2), 227–234. <https://doi.org/10.21676/23897856.3276>
- Luna Gijón, G., Nava Cuahutle, A. A., & Martínez Cantero, D. A. (2022). El diario de campo como herramienta formativa durante el proceso de aprendizaje en el diseño de información. *Zincografía*, 6(11), 245–264. <https://doi.org/10.32870/zcr.v6i11.131>
- Mackay Castro, R., Franco Cortázar, D. E., & Villacis Pérez, P. W. (2018). El pensamiento crítico aplicado a la investigación. *Universidad y Sociedad*, 10(1), 336-342.
<http://ref.scielo.org/tsw75p>
- Martínez Godínez, V. L. (2013). *Paradigmas de investigación. Manual multimedia para el desarrollo de trabajos de investigación. Una visión desde la epistemología dialéctico crítica*. Universidad de Sonora. https://pics.unison.mx/wp-content/uploads/2013/10/7_Paradigmas_de_investigacion_2013.pdf
- Martínez Pérez, L. F., y Parga Lozano, D. L. (2013). La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 8(1), 23–35. <https://doi.org/10.14483/23464712.5021>

- Manterola, C., & Otzen H, T. (2013). Porqué Investigar y Cómo Conducir una Investigación. *International Journal of Morphology*, 31(4), 1498–1504.
<https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000400056>
- MEN. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales*. Ministerio de Educación Nacional.
https://wccopre.s3.amazonaws.com/Derechos_Basicos_de_Aprendizaje_Ciencias.pdf
- MEN. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Ministerio de Educación Nacional.
https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf.pdf
- MEN. (1998). *Lineamientos Curriculares. Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Ministerio de Educación Nacional. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-89869_archivo_pdf5.pdf
- Moya, A., Chávez, E., Rodríguez, K. (2011) La investigación dirigida como un método alternativo en la enseñanza de las ciencias. *Revista Ensayos Pedagógicos*. Vol. VI, N° 1, 115-132. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5409402>
- Muñoz de Malajovich, M. A. (2012). *Biotecnología* (2 ed). Universidad Nacional de Quilmes. Argentina. ISBN: 9789875582552
- Murillo, M. y Tirado, E. (2020). Enfoque Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente CTSA como estrategia para el aprendizaje de la química en estudiantes de secundaria. *Cultura, Educación y Sociedad*, 11(2). 251-284.
<http://dx.doi.org/10.17981/cultedusoc.11.2.2020.17>

- Narváez, J. P., y Gutiérrez, J. (2023). Investigación escolar: Fomento de iniciación científica, resolución de problemas y pensamiento crítico. *Revista De Ciencias Sociales*, 29 (8), 211-222. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9219703>
- Occelli, M. (2013). Enseñar biotecnología en la escuela: aportes y reflexiones didácticas. *Boletín Biológica*. 27. 9-13. <http://hdl.handle.net/11336/22785>
- Occelli, M., García Romano, L. y Valeiras, N. (2018). La enseñanza de la biotecnología y sus controversias socio-científicas en la escuela secundaria: un estudio en la ciudad de Córdoba (Argentina). *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (43), 31–46. <https://doi.org/10.17227/ted.num43-8650>
- Palencia Salas, V. (2020). La investigación en la práctica educativa de los docentes. *Educación y Ciudad*, (38), 107–118. <https://doi.org/10.36737/01230425.n38.2020.2321>
- Pegalajar Palomino, M. C. (2021). Implicaciones de la gamificación en Educación Superior: una revisión sistemática sobre la percepción del estudiante. *Revista de Investigación Educativa*, 39(1), 169–188. <https://doi.org/10.6018/rie.419481>
- Restrepo Gómez, B. (2009). Investigación de aula: formas y actores. *Revista Educación y Pedagogía*. Medellín. Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. 21, núm. 53, 103-112. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3075322>
- Roa, R., González-Galli, L. y Valbuena, E. (2019). Implicaciones didácticas del concepto biotecnología. *Educación y Educadores* 22 (3), 397-421. <https://doi.org/10.5294/edu.2019.22.3.4>
- Rodríguez, W. y Hernández, R. (2015). Trabajos Prácticos: una reflexión desde sus potencialidades. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 10(2), 15-

34. <https://doi.org/10.14483/10.14483/udistrital.jour.gdla.2015.v10n2.a01>

Rubio, L. C. (2020). *Consolidación de un semillero de investigación escolar: una propuesta para la comprensión ecosistémica de un entorno natural escolar y el fortalecimiento de la competencia científica indagación*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Biblioteca UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/24380>

Silva Mesías, J. G., Coello Bone, J. E., Loja Loja, C. M., Serrano Ortega, G. F., & Castillo Pindo, B. M. (2023). Importancia de la experimentación en el proceso de enseñanza aprendizaje en los niveles de educación básica y bachillerato para potenciar el pensamiento crítico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 4825-4836. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6514

Soto Fraga, M. C. (2021). La competencia argumentativa en la educación. Encuentro y desencuentros teóricos para una propuesta didáctica en Colombia. *Revista Conrado*, 17(82), 152-163. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/1943>

Toro Zapata, N. (2019). *La experimentación en biotecnología, como estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la química* [Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76437>

Valle Rojas, G., Calderón Mora, M. M., & Reigosa Lorenzo, R. (2022). La formación de la competencia científica en docentes en proyectos de investigación. *Revista Conrado*, 18(87), 478-485 <http://ref.scielo.org/d2mrjd>

Vargas, L. I. (2023). *Análisis de las implicaciones del proceso de enseñanza - aprendizaje que emergen del diseño de proyectos de aula con microorganismos para estudiantes de grado once del Colegio La Floresta Sur IED*. [Universidad

Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional UPN.

<http://hdl.handle.net/20.500.12209/18656>

Villalba Cuéllar, J. C., Y González Serrano, A. (2017). La importancia de los semilleros de investigación. *Prolegómenos*, 20(39), 9-10. <http://ref.scielo.org/j84xkm>

Villalobos, S. M. (2018). *Diseño y aplicación de un módulo de Biotecnología como alternativa transversal de enseñanza en estudiantes de ciclo V y VI de Educación Media Vocacional*. [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/19822>

Zompero, A., Parga, D., Werner, C., & Vildosola, X. (2022). Competencias científicas en los currículos de Ciencias Naturales: estudio comparativo entre Brasil, Chile y Colombia. *Praxis & Saber*, 13(34), e13401.

<https://doi.org/10.19053/22160159.v13.n34.2022.13401>

Anexos

Anexo 1 Formato de consentimiento informado

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO ACADÉMICO</small>	FORMATO		
	AUTORIZACIÓN TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES Y DE MENORES DE EDAD <small>Modificado según 787 de 2018, del 26 de agosto, 2018</small>		
FOR009G 81	Fecha de Aprobación: 18-08-2018	Versión: 01	Página 1 de 2

AUTORIZACIÓN TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES

Ciudad y fecha

Yo _____, identificado con C.C. C.E. No expedida en _____, declaro que he sido informado por LA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL (en adelante la **UPN**), identificada con NIT. 899.999.124-4, con domicilio en la ciudad de Bogotá y sede principal en la calle 72 No. 11 – 86 de Bogotá, que, de conformidad con los procedimientos establecidos en la Ley 1581 de 2012, Decreto Reglamentario 1377 de 2013 y el *Manual de política interna y procedimientos para el tratamiento y protección de datos personales de la Universidad* disponible en la página web www.pedagogica.edu.co, actuará como Responsable del tratamiento de mis datos personales¹, necesarios para el cumplimiento de la misión de la **UPN**, obtenidos a través de canales y dependencias institucionales y que podrá recolectar, almacenar, usar, actualizar, transmitir, transferir y poner en circulación o suprimirlos, mediante el uso de las medidas necesarias para otorgar seguridad a los registros, evitando su adulteración, pérdida, consulta, uso o acceso no autorizado o fraudulento incluso por terceros.

Que tratándose de datos sensibles² y de menores de edad no está obligado a autorizar su tratamiento, salvo las excepciones consagradas en la ley o que medie su consentimiento expreso. Que es de carácter facultativo responder a las preguntas que traten de datos sensibles o menores de edad.

Mis derechos como titular del dato son los consagrados en la Constitución y la Ley, especialmente el derecho a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mi información personal, así como el derecho a revocar el consentimiento otorgado para el tratamiento de datos personales en los casos en que sea procedente. Las inquietudes o solicitudes relacionadas con el tratamiento de mis datos personales, pueden ser tramitadas a través del e-mail: quejasyreclamamos@pedagogica.edu.co

Teniendo en cuenta lo anterior, autorizo de manera voluntaria, previa, explícita, informada e inequívoca a la **UPN** para tratar mis datos personales de acuerdo con el *Manual de política interna y procedimientos para el tratamiento y protección de datos personales de la Universidad* y para los fines relacionados con su Misión.

Leído lo anterior, manifiesto que la información para el Tratamiento de mis datos personales la he suministrado de forma voluntaria y es veraz, completa, exacta, actualizada, comprobable y comprensible.

FIRMA

Nombre: _____

Identificación: _____

¹ La UPN garantiza la confidencialidad, libertad, seguridad, veracidad, transparencia, acceso y circulación restringida de mis datos y se reserva el derecho de modificar su Política de Tratamiento de datos personales en cualquier momento. Cualquier cambio será informado y publicado oportunamente en la página web.

² Son **datos sensibles** aquellos que afectan la intimidad del Titular o cuyo uso indebido puede generar su discriminación, tales como aquellos que revelen el origen racial o étnico, la orientación política, las convicciones religiosas o filosóficas, la pertenencia a sindicatos, organizaciones sociales, de derechos humanos o que promuevan intereses de cualquier partido político o que garanticen los derechos y garantías de partidos políticos de oposición, así como los datos relativos a la salud, a la vida sexual, y los datos biométricos (Art. 5° Ley 1581 de 2012, art. 3° Decreto 1377 de 2013).

	FORMATO		
	AUTORIZACIÓN TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES Y DE MENORES DE EDAD		
<small>Modificación 787 de 18 de mayo 2018</small>			
FOR008G 81	Fecha de Aprobación: 18-08-2018	Versión: 01	Página 2 de 2

AUTORIZACIÓN TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES DE MENORES DE EDAD

Ciudad y fecha

Yo _____, identificado con C.C. _____ C.E. No.
 expedida en _____, representante legal del menor
 _____, identificado con T.I. NUIP No.

_____ declaro que he sido informado por **LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL** (en adelante la **UPN**), identificada con NIT. 899.999.124-4, con domicilio en la ciudad de Bogotá y sede principal en la calle 72 No. 11 – 86 de Bogotá, que, de conformidad con los procedimientos establecidos en la Ley 1581 de 2012, Decreto Reglamentario 1377 de 2013 y el *Manual de política interna y procedimientos para el tratamiento y protección de datos personales de la Universidad*, disponible en la página web www.pedagogica.edu.co, actuará como Responsable del tratamiento de mis datos personales³, necesarios para el cumplimiento de la misión de la **UPN**, obtenidos a través de canales y dependencias institucionales y que podrá recolectar, almacenar, usar, actualizar, transmitir, transferir y poner en circulación o suprimirlos, mediante el uso de las medidas necesarias para otorgar seguridad a los registros, evitando su adulteración, pérdida, consulta, uso o acceso no autorizado o fraudulento incluso por terceros.

Que tratándose de datos sensibles⁴ y de menores de edad no está obligado a autorizar su tratamiento, salvo las excepciones consagradas en la ley o que medie su consentimiento expreso. Que es de carácter facultativo responder a las preguntas que traten de datos sensibles o menores de edad.

Como representante legal del menor, debo velar por los derechos consagrados en la Constitución y la Ley sobre sus datos, especialmente el derecho a conocer, actualizar, rectificar y suprimir información personal, así como el derecho a revocar el consentimiento otorgado para el tratamiento de datos personales del menor, en los casos en que sea procedente. Las inquietudes o solicitudes relacionadas con el tratamiento dichos datos, pueden ser tramitadas a través del e-mail: quejasvireclamos@pedagogica.edu.co

La Universidad garantiza la confidencialidad, libertad, seguridad, veracidad, transparencia, acceso y circulación restringida de los datos y se reserva el derecho de modificar su Política de Tratamiento de datos personales en cualquier momento. Cualquier cambio será informado y publicado oportunamente en la página web.

Teniendo en cuenta lo anterior, autorizo de manera voluntaria, previa, explícita, informada e inequívoca a la **UPN** para tratar los datos personales del menor que represento, de acuerdo con el *Manual de política interna y procedimientos para el tratamiento y protección de datos personales de la Universidad* y para los fines relacionados con su Misión.

Leído lo anterior, manifiesto que la información para el Tratamiento de los datos personales del menor de edad que represento, ha sido suministrada de forma voluntaria y es veraz, completa, exacta, actualizada, comprobable y comprensible.

FIRMA

Nombre: _____

Identificación: _____

³ La UPN garantiza la confidencialidad, libertad, seguridad, veracidad, transparencia, acceso y circulación restringida de mis datos y se reserva el derecho de modificar su Política de Tratamiento de datos personales en cualquier momento. Cualquier cambio será informado y publicado oportunamente en la página web.

⁴ Son **datos sensibles** aquellos que afectan la intimidad del Titular o cuyo uso indebido puede generar su discriminación, tales como aquellos que revelan el origen racial o étnico, la orientación política, las convicciones religiosas o filosóficas, la pertenencia a sindicatos, organizaciones sociales, de derechos humanos o que promuevan intereses de cualquier partido político o que garanticen los derechos y garantías de partidos políticos de oposición, así como los datos relativos a la salud, a la vida sexual, y los datos biométricos (Art. 5º Ley 1581 de 2012, art. 3º Decreto 1377 de 2013).

Anexo 2 Preguntas conversatorio inicial



Conversatorio Inicial

- 1- ¿Qué significa para ustedes ser investigador?
- 2- ¿Qué cualidades debe tener una persona que hace investigación?
- 3- ¿Qué significa para ustedes hacer investigación?
- 4- ¿Por qué les gusta investigar?
- 5- ¿Sobre qué les gustaría hacer investigación?
- 6- ¿Por qué escogieron sus temas de investigación?
- 7- ¿Por qué prefieren hacer un proyecto de ciencias que tenga una etapa experimental?
- 8- ¿Cuál es el impacto de las ciencias naturales en la humanidad?
- 9- ¿Para qué sirve la investigación en los campos social, cultural, político y económico?

Preguntas adaptadas de Gómez (2021)

Anexo 3 Preguntas reflexión inicial IB



Primera reunión formal – Reflexión inicial

Durante la reunión formal, el estudiante deberá discutir estas preguntas con su supervisor

- 1- ¿Cuáles son mis motivaciones para este proyecto?
- 2- ¿Mi área de investigación está lo suficientemente delimitada?
- 3- ¿Cómo empezaré el proceso?
- 4- ¿Qué métodos utilizaré para la investigación y la citación de fuentes?
- 5- ¿Qué cuestiones éticas he considerado?
- 6- ¿Qué motivaciones han surgido tras esta primera etapa?
- 7- ¿Cómo ha cambiado mi concepción sobre la investigación?
- 8- ¿Qué aprendizaje significativo he tenido en esta primera etapa?

Después de responder estas preguntas, el estudiante deberá completar el formulario RPPF y enviarlo al supervisor

Anexo 4 Preguntas reflexión intermedia IB



Segunda reunión formal – Reflexión intermedia

Durante la reunión formal, el estudiante deberá discutir estas preguntas con su supervisor

- 1- ¿Cómo se ha mantenido mi motivación en este proyecto?
- 2- ¿Cómo ha sido el enfoque ético de mi investigación?
- 3- ¿Qué aprendizaje significativo he tenido en esta segunda etapa?
- 4- ¿Qué habilidades nuevas o mejoradas he adquirido a lo largo de este proceso?
- 5- ¿Qué obstáculos o desafíos he encontrado en el proceso? ¿Cómo los he superado?
- 6- ¿Son mis datos y mi investigación suficientes para abordar el dilema?
- 7- ¿Cómo ha cambiado la comprensión de mi tema de investigación?
- 8- ¿Qué he aprendido que pueda influir en mi futuro?

Después de responder estas preguntas, el estudiante deberá completar el formulario RPPF y enviarlo al supervisor

Anexo 5 Preguntas reflexión final IB



Tercera reunión formal – Reflexión final

Durante la reunión formal, el estudiante deberá discutir estas preguntas con su supervisor

- 1- ¿Qué aprendizaje significativo he tenido en esta tercera etapa?
- 2- ¿He cambiado de opinión o perspectiva a raíz de mi investigación? En caso afirmativo, ¿de qué modo?
- 3- ¿He adquirido habilidades nuevas que me serán útiles más adelante?
- 4- ¿Qué estrategias me resultaron más eficaces? ¿Hay alguna que podría haberme ayudado a ser más eficaz?
- 5- ¿Qué mejoras podría sugerir para mis propias prácticas?
- 6- ¿Qué conclusiones puedo extraer de esto?
- 7- ¿Qué aprendí sobre mí mismo como sujeto del aprendizaje en este proceso?
- 8- ¿Cómo me preparará esta experiencia para futuros trabajos de este tipo? (universidad, mundo laboral y profesional)

Después de responder estas preguntas, el estudiante deberá completar el formulario RPPF y enviarlo al supervisor

Anexo 6 Documentos de investigación de los estudiantes

A continuación, se presentan los títulos de los proyectos de investigación escolar en biotecnología realizado por los estudiantes:

1. Uso de *Hydrocotyle ranunculoides* para fitoremediación de tensioactivos en fuentes hídricas.
2. Utilización de *Bacillus subtilis* para la biorremediación del Tereftalato de Polietileno (PET) y Polietileno de baja densidad (LDPE) en la renovación de aguas servidas en el “Parque Ecológico Distrital de Humedal (PEDH) Córdoba”.
3. Biorremediación potencial del consorcio de *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. a través de la remoción de sulfato de aluminio.
4. Relación entre la cantidad de glucosa del sustrato y la producción de etanol en la levadura *Saccharomyces cerevisiae* durante la fermentación.
5. Estudios sobre la influencia del tipo de sustrato (caña de azúcar y panela) en la velocidad de fermentación de la levadura en panificación.

En adición, en el siguiente enlace se encuentran dos de los proyectos de investigación escolar.

https://drive.google.com/drive/folders/1zRiXSQUmx6ZcOpal6aBwcdyIJfJEVJ_8?usp=sharing