



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

MAGISTER EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

**IMPACTO DE LA ANIMACIÓN STOP MOTION EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS
MENTALES SOBRE LA FOTOSÍNTESIS: INVESTIGACIÓN ACCIÓN CON COMPARACIÓN ENTRE
METODOLOGÍA TRADICIONAL Y METODOLOGÍA ACTIVA EN ESTUDIANTES DE PRIMERO
MEDIO**

Tesis para optar al grado de Magíster en Enseñanza de las Ciencias

Tesista: VITIA ALEJANDRA FERNÁNDEZ JIMÉNEZ

Profesor asesor guía: Dr. JAVIER ENRIQUE VERGARA NUÑEZ

Valparaíso, Chile

2025

AGRADECIMIENTOS

Con todo mi corazón, quiero agradecer a mi mamá, Vitia, quien ha sido mi pilar y mi mayor inspiración. En innumerables formas me ha acompañado a lo largo de mi camino y siempre ha creído en mi capacidad para alcanzar todas las metas que me he propuesto en la vida. A Marco, mi padre, gracias por su amor y por estar siempre dispuesto a cuidarme, demostrando con sus acciones que el amor se manifiesta en detalles día a día. A mi hermana Valentina, por ser ese oído atento y compañía fiel en cada uno de mis momentos, por más sencillos o difíciles que hayan sido. A los tres, gracias por ser el refugio seguro donde siempre encuentro fuerza y amor.

A la vida, le doy gracias por regalarme a Francisca, mi hija, quien sin saberlo se ha convertido en el principal motor que impulsa mis ganas de seguir creciendo y esforzarme por ser un ejemplo de mujer para ella. Estoy infinitamente agradecida y te amo con todo mi corazón.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a Javier Vergara Núñez, profesor guía de esta investigación, por su apoyo constante, su paciencia y comprensión, que hicieron posible que este trabajo concluyera. Su guía ha sido luz en este proceso.

*Cuando lo observo lo estudio,
cuando lo estudio lo entiendo,
cuando lo entiendo me importa,
cuando me importa lo cuido.*

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CÁPITULO 1: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	16
Antecedentes Generales De La Problemática En Estudio	16
Definición De Preguntas Investigación, Hipótesis, Objetivo General y Objetivos Específicos .	18
<i>Las Preguntas De Investigación</i>	18
<i>Hipótesis De Investigación</i>	18
<i>Objetivo General</i>	19
<i>Objetivos Específicos</i>	19
Propuesta Que Impulsa La Investigación Acción	20
Valor Y Aporte De La Investigación	20
CÁPITULO 2: MARCO TEÓRICO	23
La Estructura Del Marco Teórico	23
Teoría Cognitiva Del Aprendizaje Multimedia	24
Ideas Previas Y Modelos Mentales En La Enseñanza De Las Ciencias.....	27
Fundamento Teórico De La Investigación – Acción	30
Concepciones En Relación Con La Fotosíntesis Y La Necesidad De Enfoques Didácticos	
Actualizados	33
Animación Stop Motion En Educación	37

Estrategias Didácticas Específicas Para La Enseñanza – Aprendizaje De La Fotosíntesis: Uso De Animación Y Recursos Multimedia.....	40
<i>Fundamentos De Las Animaciones Stop-Motion En Educación Científica</i>	41
<i>Evidencia Empírica Sobre Animaciones Multimedia En Fotosíntesis</i>	41
<i>Ventajas Específicas Del Stop Motion En Procesos Biológicos</i>	43
<i>Superación De Concepciones Alternativas</i>	43
Marco Curricular Chileno Para El Aprendizaje Progresivo De La Fotosíntesis Y Su Impacto Ambiental	44
Aspectos Bioquímicos De La Fotosíntesis	47
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	50
Enfoque Metodológico	50
<i>Investigación-Acción</i>	50
<i>Diseño Cuasi-Experimental</i>	51
Justificación Metodológica	51
Diseño De La Investigación	51
<i>Tipo De Estudio</i>	51
<i>Variables</i>	52
<i>Contexto y participantes</i>	53
<i>Instrumentos</i>	53
<i>Procedimiento De Aplicación</i>	55
Análisis De Datos	55
<i>Interpretación Del Delta Porcentual ($\Delta\%$)</i>	56
<i>Rangos De Interpretación De Delta Porcentual ($\Delta\%$)</i>	56

<i>Interpretación Del d de Cohen e IC 95%</i>	57
Plan De Intervención Educativa	58
<i>Objetivos Asociados Al Curriculum Regular De Estudios</i>	58
Metodologías De Enseñanza	58
<i>Metodología Tradicional (Grupo Control)</i>	58
<i>Metodología Stop Motion (Grupo Experimental)</i>	58
Materiales Didácticos	59
<i>Metodología Tradicional</i>	59
<i>Metodología Stop Motion</i>	59
Consideraciones Éticas	59
<i>Principio De Respeto Por Las Personas</i>	59
<i>Principio De Beneficencia</i>	60
<i>Principio De Justicia</i>	60
<i>Protección De Datos y Confidencialidad</i>	60
<i>Autorización Institucional</i>	61
CAPÍTULO 4: RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO	62
Diagnóstico y Planificación De La Acción	62
<i>Validación De La Hipótesis 1: Equivalencia Inicial Entre Grupos</i>	62
<i>Instrumento 1. Equivalencia En El Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales</i>	63
<i>Instrumento 2. Comprensión Funcional De Órganos Vegetales</i>	64
<i>Instrumento 3. Conocimiento Inicial Equivalente En El Reconocimiento De Órganos En Contexto Fotosintético</i>	66
<i>Instrumento 3. Conocimiento Bioquímico Inicial Equivalente</i>	68

<i>Interpretación De Necesidades Educativas Y Planificación Didáctica</i>	71
<i>Implicaciones Curriculares Y Punto De Partida Conceptual</i>	72
<i>Planificación Didáctica Específica.....</i>	73
<i>Diferenciación Metodológica Esperada</i>	74
Implementación De La Acción.....	74
<i>Diseño Metodológico De Las Intervenciones.....</i>	74
<i>Síntesis De Actividades Por Sesión.....</i>	76
Observación Sistemática Del Proceso.....	77
<i>Instrumentos Y Procedimientos De La Observación</i>	77
<i>Algunos Resultados De La Observación</i>	77
<i>Registro De Incidencias Y Adaptaciones</i>	77
<i>Mantenimiento De La Fidelidad Curricular</i>	78
Aplicación Del Postest	78
Resultados De La Implementación	78
Resultados Intragrupo: Metodología Tradicional Expositiva (Grupo Control)	79
<i>Instrumento 1. Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales.....</i>	79
<i>Instrumento 2. Comprensión Funcional De Órganos Vegetales</i>	80
<i>Instrumento 3. Reconocimiento De Las Nociones De Órganos En Contexto Fotosintético ...</i>	82
<i>Instrumento 3. Conocimientos Bioquímicos De La Fotosíntesis</i>	84
<i>Instrumento 3. Procesos Fotosintéticos Complejos Emergentes</i>	87
Resultados Intragrupo – Metodología Stop Motion (Grupo Experimental)	89
<i>Instrumento 1. Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales.....</i>	90
<i>Instrumento 2. Comprensión Funcional de Órganos Vegetales</i>	91

<i>Instrumento 3. Reconocimiento De Órganos En Contexto Fotosintético.....</i>	<i>93</i>
<i>Instrumento 3. Conocimiento Bioquímico De La Fotosíntesis</i>	<i>95</i>
<i>Instrumento 3. Procesos Fotosintéticos Emergentes</i>	<i>97</i>
Resultados Intergrupo: Validación De La Hipótesis 2	100
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y PROYECCIONES	104
Discusión De Resultados	104
Conclusiones y limitaciones.....	107
Proyecciones.....	110
REFERENCIAS.....	115
CÁPITULO 8: ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Las líneas de aprendizaje y sus objetivos curriculares	46
Tabla 2 Síntesis del diseño cuasi-experimental	53
Tabla 3 Comparación entre instrumentos diagnósticos.....	54
Tabla 4 Parámetros e interpretación de Delta Porcentual ($\Delta\%$)	56
Tabla 5 Rangos de interpretación de Delta Porcentual ($\Delta\%$)	57
Tabla 6 Parámetros e interpretación del tamaño del efecto e IC 95%.....	57
Tabla 7 Reconocimiento de órganos vegetales en las respuestas escritas del diagnóstico inicial	63
Tabla 8 Reconocimiento de órganos vegetales en las respuestas gráficas del diagnóstico inicial	63
Tabla 9 Funciones atribuidas a la raíz en el diagnóstico inicial	64
Tabla 10 Funciones atribuidas al tallo en el diagnóstico inicial	65
Tabla 11 Funciones atribuidas a la hoja en el diagnóstico inicial	65
Tabla 12 Mención escrita de órganos en contexto fotosintético (inicial)	67
Tabla 13 Mención gráfica de órganos en contexto fotosintético (inicial)	67
Tabla 14 Elementos de fotosíntesis en explicaciones escritas (inicial)	69
Tabla 15 Elementos fotosintéticos en representaciones gráficas (inicial).....	69
Tabla 16 Resumen de actividades implementadas por sesión en ambas metodologías	76
Tabla 17 Comparación de la frecuencia de reconocimiento de órganos vegetales	79
Tabla 18 Funciones atribuidas a órganos vegetales (control)	81
Tabla 19 Mención de órganos en contexto fotosintético (control)	83
Tabla 20 Comparación intragrupo de elementos de fotosíntesis en explicaciones escritas (control)	85
Tabla 21 Procesos y productos complejos emergentes (control)	87
Tabla 22 Reconocimiento morfológico de órganos vegetales (experimental)	90
Tabla 23 Comparación de las funciones atribuidas a los órganos vegetales (experimental)	92

Tabla 24 Mención de órganos en contexto fotosintético (experimental)	94
Tabla 25 Comparación intragrupo de los elementos de la fotosíntesis (experimental)	95
Tabla 26 Procesos y productos complejos emergentes (experimental).....	98
Tabla 27 Comparación intergrupo de la efectividad metodológica	101

RESUMEN

La investigación abordó la enseñanza de la fotosíntesis mediante dos estrategias didácticas, en estudiantes de primero medio, de un liceo de la Provincia de Los Andes, Chile. El objetivo fue evaluar la eficacia de la metodología basada en animaciones stop motion frente a la metodología tradicional expositiva, considerando el reconocimiento de órganos vegetales, la comprensión de sus funciones y el conocimiento de elementos bioquímicos del proceso fotosintético. La teoría de base comprendió la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia de Mayer (2005), la Investigación Acción de Elliott (1993) y los estudios sobre modelos mentales y concepciones alternativas en ciencias (Jhonson-Laird, 1983; Tamayo et al., 2024).

Metodológicamente se empleó un diseño cuasi experimental con comparación pre – post entre un grupo control (metodología expositiva) y un grupo experimental (animaciones stop motion), complementando con ciclos de investigación acción. Los principales hallazgos relevan que ambos grupos partían con concepciones fragmentarias. El grupo control consolidó funciones específicas, mientras que el grupo experimental logró saltos conceptuales sustanciales en procesos dinámicos y la emergencia de conceptos moleculares complejos. Las conclusiones fundamentales refieren que la metodología stop motion, al combinar procesamiento visual y verbal, y fomentar la construcción activa de representaciones, facilita la transformación de modelos mentales y el aprendizaje de conceptos científicos avanzados. Se propone la integración secuencial de ambas estrategias y la revisión de la progresión curricular para asegurar la nivelación conceptual previa.

Palabras claves: enseñanza de las ciencias, animación stop motion, investigación – acción, conceptos de fotosíntesis, modelos mentales

ABSTRACT

The investigation approached the photosynthesis education through two didactic strategies, applied to students from the first year of high school in the city of Los Andes, Chile. The aim was to evaluate the methodology's efficiency based on stop-motion animations compared to the traditional explosive methodology, taking into account the recognition of vegetal organs, the comprehension of their functions, and the knowledge of biochemical elements.

The main theory was understood by Mayer's Cognitive Theory of Multimedia Learning (2005), Elliott's Action Research (1993), in addition to the studies about mental models and alternative conceptions in science (Johnson-Laird, 1983; Tamayo et al., 2024).

A quasi-experimental design was implemented using the established methodology with pre-post preparation between a control group (traditional expositive methodology) alongside an experimental group (stop-motion animation) complemented by activation-action cycles.

The main discoveries reveal that both groups initiated with fragmentary conceptions. The control group consolidated specific functions, whereas the experimental group archived substantial conceptual leaps in dynamic processes, moreover the molecular concepts' complexity and their emergence.

The main conclusions refer to the fact that the stop-motion methodology, when combined with visual and verbal processing, and moreover the encouragement of active construction from representations, smooths the transformation of mental models and the learning of advanced scientific concepts. It is proposed the sequential incorporation of both strategies and the curricular progression review to secure the previous conceptual leveling.

Keywords: teaching of the sciences, stop motion animation, action – investigation, Photosynthesis Concepts, Mental Models.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias naturales en educación media chilena se enfrenta actualmente a desafíos significativos en la construcción de comprensiones profundas sobre procesos biológicos complejos. Particularmente, la enseñanza de la fotosíntesis constituye una de las unidades más exigentes de abordar en el currículo nacional, debido tanto a la naturaleza abstracta y microscópica del fenómeno como a la persistencia de concepciones alternativas que los estudiantes mantienen incluso después de recibir instrucción formal (Charrier Melillán et al., 2006; Tamayo et al., 2024). Investigaciones realizadas en contextos chilenos documentan que una proporción significativa de estudiantes de enseñanza media presentan ideas erróneas e incompletas sobre la fotosíntesis, incluyendo la confusión entre nutrición heterótrofa y autótrofa, la desconexión entre estructura y función de órganos vegetales, y el desconocimiento de elementos bioquímicos fundamentales como el dióxido de carbono y la glucosa (González et al., 2020; Vega Páez et al., 2024). El Ministerio de Educación de Chile (2024) ha enfatizado, en su agenda de innovación educativa, la importancia de fortalecer las capacidades del sistema educativo mediante la integración transformadora de tecnologías digitales y estrategias didácticas innovadoras que fomenten aprendizajes significativos. Sin embargo, persiste una brecha significativa entre la intención curricular, expresada en los Objetivos de Aprendizajes progresivos desde tercero básico (CN03 OA1) hasta primero medio (CN1M OA07), y la práctica pedagógica real en las aulas, donde la incorporación de recursos multimedia y actividades constructivas aún resulta limitada (Ministerio de Educación de Chile, 2024).

En el contexto particular de un liceo de la Provincia de Los Andes, la situación descrita se hace evidente en los estudiantes de primero medio, quienes suelen mantener concepciones fragmentarias e incorrectas sobre cómo ocurre el proceso fotosintético y por qué resulta fundamental en la naturaleza. Esta dificultad se evidencia cotidianamente en el trabajo docente de la investigadora y se corrobora en diagnósticos iniciales, donde solo el 1,8% de los estudiantes reconoce al CO_2 como reactivo y ninguno identifica la glucosa como producto final

de la fotosíntesis. Esta realidad ilustra cómo, a pesar de la importancia que el currículo chileno otorga a la capacidad de observar, comprender y explicar fenómenos naturales con el propósito de contribuir al bienestar social y ambiental (Ministerio de Educación de Chile, 2016), existe una desconexión entre los objetivos declarados y los logros reales alcanzados en las aulas. La limitación en la incorporación de herramientas modernas y estrategias didácticas innovadoras ha dificultado el tránsito hacia aprendizajes realmente significativos y contextualizados que permitan al estudiantado desarrollar las competencias científicas necesarias para enfrentar los desafíos del siglo XXI.

Frente a esta problemática, la presente investigación se centra en el impacto de la animación stop motion en la construcción de modelos mentales sobre la fotosíntesis en estudiantes de primero medio. Se busca evaluar la eficacia de una metodología basada en la creación de animaciones stop motion, apoyada en tecnologías de la información y la comunicación y en la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, en comparación con la metodología tradicional expositiva, considerando el reconocimiento de órganos vegetales, la comprensión de sus funciones y el conocimiento de los elementos bioquímicos involucrados en el proceso fotosintético. La aproximación metodológica adoptada corresponde a un diseño cuasi-experimental con comparación pre-post entre un grupo control, que recibe instrucción tradicional, y un grupo experimental, que desarrolla animaciones stop motion, complementado con ciclos de investigación-acción. Esta combinación permite no solo medir cuantitativamente los avances conceptuales del estudiantado, sino también ajustar de manera reflexiva la práctica docente a partir de la experiencia en el aula, garantizando así la pertinencia y aplicabilidad de los hallazgos en contextos educativos similares.

A pesar de que diversos estudios documentan la persistencia de concepciones alternativas sobre la fotosíntesis en estudiantes chilenos y que existen propuestas internacionales que utilizan recursos multimedia innovadores para la enseñanza de procesos celulares complejos (Hoban & Nielsen, 2013; Farrokhnia, Hoban, & Keast, 2020), existe escasa evidencia empírica sobre la eficacia específica de la animación stop motion generada por el

propio estudiantado en la superación de dificultades conceptuales en el contexto de la educación media chilena. Esta brecha de conocimiento constituye la justificación central de la presente investigación.

El presente informe se organiza de la siguiente manera para abordar sistemáticamente esta problemática. El primero de los cinco capítulos aborda la problemática de la investigación, presentado sus antecedentes generales, las preguntas que orientan el estudio, la hipótesis y los objetivos propuestos, además de fundamentar la investigación-acción como enfoque metodológico. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico que sustenta la intervención, integrando la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, el análisis de modelos mentales y concepciones alternativas en ciencias, el enfoque de la investigación-acción, así como las evidencias sobre concepciones erróneas sobre fotosíntesis, el uso de animaciones para procesos biológicos complejos, y la relevancia del contexto curricular chileno. En el tercer capítulo se describe detalladamente el marco metodológico, incluyendo el diseño experimental, las características de la población, los instrumentos de recolección de datos, los procedimientos de aplicación, el análisis de datos y las consideraciones éticas. El cuarto capítulo presenta los resultados del trabajo de campo, con análisis intra e intergrupo, la validación de la hipótesis y la interpretación de los cambios conceptuales. Finalmente, el quinto capítulo expone la discusión de los resultados, las conclusiones derivadas, una reflexión sobre las limitaciones del estudio y las proyecciones futuras para la enseñanza de la fotosíntesis y la innovación didáctica en ciencias, ofreciendo una versión comprensiva y sistemática que pueda ser aplicada en contextos similares.

CÁPITULO 1: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes Generales De La Problemática En Estudio

Actualmente, enseñar y aprender sobre la fotosíntesis constituye un desafío recurrente en la educación media chilena. Diversos estudios han mostrado que los procesos biológicos de carácter abstracto y microscópico suelen generar dificultades persistentes de comprensión en el estudiantado (Charrier Melillán et al., 2006; Tamayo et al., 2014). Esta situación se hace especialmente evidente en uno de los liceos de la Provincia de Los Andes, donde los estudiantes de primero medio mantienen con frecuencia ideas incompletas o incorrectas sobre cómo ocurre la fotosíntesis y por qué es importante en la naturaleza. Esta problemática se constata tanto en la experiencia de trabajo docente cotidiano como en los resultados diagnósticos iniciales de la presente investigación.

El currículo chileno de ciencias enfatiza que la educación debe fomentar en los estudiantes la capacidad de observar, comprender y explicar fenómenos naturales, con el objetivo de contribuir al bienestar social y ambiental (Ministerio de Educación de Chile, 2016). Sin embargo, se observa una brecha entre estos propósitos y la incorporación sistemática de tecnologías y estrategias didácticas innovadoras en las aulas, lo que dificulta el tránsito hacia aprendizajes significativos y contextualizados. Tal como señalan distintas políticas y lineamientos recientes, la integración de herramientas modernas puede favorecer la comprensión profunda, la motivación y el desarrollo de competencias necesarias para enfrentar los retos del siglo XXI (Ministerio de Educación de Chile, 2024). En este contexto, avanzar en la actualización metodológica resulta esencial para que los objetivos del currículo se traduzcan en experiencias educativas transformadoras y pertinentes para el estudiantado.

Desde esta perspectiva, aprender ciencias naturales supone reconocer que los estudiantes construyen modelos mentales a partir de sus ideas previas y experiencias. Estas concepciones iniciales influyen de manera decisiva en la integración y resignificación de nuevos conocimientos. Por ello, se considera fundamental identificar y valorar activamente tales ideas

al momento de diseñar secuencias didácticas, estableciendo una progresión significativa que prevenga la persistencia de errores conceptuales. Así, las propuestas curriculares debieran propiciar una evolución gradual de estas estructuras mentales, fomentando la resignificación de ideas previas y el desarrollo de comprensiones más profundas y científicas a lo largo de la trayectoria escolar (Tamayo et al., 2014).

Las concepciones previas del estudiantado sobre la fotosíntesis reflejan una serie de ideas erróneas e incompletas que dificultan una comprensión científica adecuada del proceso, tal como documenta Charrier Melillán et al. (2006). Estas concepciones alternativas incluyen la confusión entre nutrición heterótrofa y autótrofa, la desconexión entre estructura y función de los órganos vegetales y el desconocimiento de elementos bioquímicos fundamentales como el dióxido de carbono y la glucosa. Esta problemática también se observa en los resultados diagnósticos iniciales de la presente investigación, donde solo el 1,8% de los estudiantes reconoce al CO_2 como reactivo y ninguno identifica la glucosa como producto de la fotosíntesis.

En el marco metodológico de este estudio, el aprendizaje de la fotosíntesis se entiende como una variable que integra tres dimensiones estrechamente relacionadas:

1. El reconocimiento de órganos vegetales
2. La comprensión de las funciones de dichos órganos.
3. El conocimiento de elementos bioquímicos centrales del proceso fotosintético.

Esta definición orienta tanto la formulación de las preguntas de investigación como el diseño de los instrumentos y el análisis de resultados, asegurando la coherencia entre el planteamiento del problema y la metodología empleada.

Definición De Preguntas Investigación, Hipótesis, Objetivo General y Objetivos Específicos

Las Preguntas De Investigación

Frente a la problemática descrita, se plantean las siguientes interrogantes de investigación, directamente vinculadas con la variable aprendizaje de la fotosíntesis – entendida como reconocimiento de órganos vegetales, comprensión de sus funciones y conocimiento de elementos bioquímicos – y con la comparación entre metodologías de enseñanza.

Pregunta 1. ¿Existe equivalencia inicial entre los grupos participantes en términos de reconocimiento morfológico de órganos vegetales, comprensión de sus funciones y conocimientos bioquímicos sobre fotosíntesis, que permita la comparabilidad experimental?

Pregunta 2. ¿En qué medida la implementación de animaciones stop motion como estrategia didáctica mejora el conocimiento conceptual sobre órganos vegetales, sus funciones y el proceso de fotosíntesis en estudiantes de primero medio, en comparación con una metodología expositiva tradicional?

Ambas preguntas se formulan en función de variables observables y medibles mediante los instrumentos diseñados, lo que permite abordar la problemática de manera empírica y sistemática.

Hipótesis De Investigación

En coherencia con las preguntas planteadas, se formulan las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. Los grupos participantes en la investigación presentan condiciones iniciales equivalentes en cuanto al reconocimiento morfológico de órganos vegetales, la comprensión de sus funciones y los conocimientos bioquímicos sobre fotosíntesis, lo que valida la comparabilidad experimental del estudio.

Hipótesis 2. Después de la intervención didáctica, el grupo experimental que participa en la creación de animaciones stop motion presentará un mayor nivel de conocimiento

conceptual, evidenciado en la cantidad, diversidad y precisión de conceptos científicos correctos en sus respuestas sobre los órganos de las plantas, sus funciones y la fotosíntesis, en comparación con el grupo control, en el cual se implementa una metodología expositiva tradicional.

Objetivo General

Evaluar la eficacia de la metodología stop motion frente a la metodología tradicional en el aprendizaje de la fotosíntesis, considerando el reconocimiento de órganos vegetales, la comprensión de sus funciones y el conocimiento de elementos bioquímicos del proceso fotosintético, en estudiantes de primero medio de un liceo de la Provincia de Los Andes.

Objetivos Específicos

A continuación, se presentan los objetivos específicos que guían esta investigación, orientando la recolección y análisis de datos para evaluar la eficacia de la estrategia didáctica basada en animaciones stop motion en el aprendizaje de la fotosíntesis en estudiantes de primero medio.

1. Validar la equivalencia inicial entre los grupos participantes en términos de reconocimiento morfológico de órganos vegetales, comprensión funcional y conocimientos bioquímicos sobre fotosíntesis, estableciendo las condiciones de comparabilidad experimental.
2. Comparar la efectividad de la metodología stop motion versus la metodología tradicional en la superación de concepciones erróneas sobre fotosíntesis, evaluando los cambios conceptuales producidos en estudiantes de primero medio tras una intervención de seis sesiones alineada con el currículo chileno.
3. Valorar el aporte de la metodología stop motion para promover el aprendizaje significativo, mediante el análisis de cambios producidos en el conocimiento conceptual sobre fotosíntesis.

4. Establecer proyecciones sobre la eficacia pedagógica de la animación stop motion en la mejora de la comprensión de la fotosíntesis en estudiantes de educación media, considerando tanto la complementariedad metodológica como las fortalezas específicas de cada estrategia didáctica.

Propuesta Que Impulsa La Investigación Acción

Esta investigación tiene como propósito evaluar la eficacia de una estrategia didáctica basada en la creación de animaciones stop motion, apoyada en el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y en la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, para la enseñanza y el aprendizaje de la fotosíntesis en estudiantes de primero medio del liceo. Se parte de la identificación de bajos niveles iniciales y de la persistencia de concepciones erróneas sobre la fotosíntesis, dificultades ampliamente documentadas en la literatura nacional e internacional (Charrier Melillán, Cañal, & Rodrigo Vega, 2006; Tamayo et al., 2014; González et al., 2020; Ministerio de Educación de Chile, 2024).

A través de un diseño cuantitativo con comparación pre y post intervención, se contrasta el logro conceptual de quienes desarrollan la animación stop motion frente a quienes reciben instrucción mediante la metodología tradicional. La estrategia se sustenta en la premisa de que la combinación de recursos visuales, actividad constructiva y reflexión guiada favorece la reorganización de modelos mentales y el desarrollo de comprensiones más integradas sobre la fotosíntesis (Mayer, 2009; Farrokhnia, Hoban, & Keast, 2020; Hoban & Nielsen, 2013). Se busca aportar evidencia al campo de la innovación didáctica en ciencias, promoviendo el uso de recursos visuales y la participación activa del estudiantado, con miras a mejorar la comprensión conceptual y la apropiación de saberes relevantes para la formación ciudadana y ambiental.

Valor Y Aporte De La Investigación

La presente investigación aporta evidencia empírica al campo de la innovación didáctica en ciencias, específicamente en el área de la enseñanza de la fotosíntesis. Mediante un diseño cuantitativo con comparación pre y post intervención, se contrasta el logro conceptual de

estudiantes que desarrollan animaciones stop motion frente a quienes reciben instrucción mediante metodología tradicional.

El valor científico del estudio reside en su fundamentación metodológica basada en la investigación-acción, siguiendo el modelo espiral de Elliott (1993), que permite no solo identificar problemas educativos reales, sino también implementar, evaluar y reformular soluciones prácticas. Esta aproximación garantiza la pertinencia y aplicabilidad de los hallazgos en contextos educativos similares, al articular la reflexión sistemática del profesorado con la evidencia empírica recogida en el aula.

Desde una perspectiva curricular, la investigación se alinea con las expectativas del Ministerio de Educación de Chile (2024) para el desarrollo de competencias científicas, abordando específicamente los Objetivos de Aprendizaje desde tercero básico (CN03 OA1) hasta primero medio (CN1M OA07). Esta progresión curricular fundamentada permite que los resultados sean directamente transferibles a la práctica pedagógica nacional, al situar la intervención dentro de metas oficiales para la enseñanza de la fotosíntesis y el trabajo con modelos de procesos biológicos.

El aporte metodológico del estudio radica en la validación de una estrategia didáctica que combina principios del aprendizaje multimedia (Mayer, 2005) con la construcción activa de conocimientos. Los resultados evidencian que las animaciones stop motion facilitan el acceso a conocimientos moleculares complejos (ATP, NADPH, fotólisis) y promueven saltos conceptuales hacia niveles de comprensión avanzados, superiores a los alcanzables mediante metodología expositiva tradicional, especialmente en lo referente a la articulación entre estructura, función y procesos bioquímicos.

En términos de impacto educativo, la investigación muestra que ambas metodologías poseen fortalezas complementarias: la metodología tradicional resulta eficaz para consolidar funciones específicas y superar concepciones alternativas mediante instrucción directa, mientras que las animaciones stop motion facilitan la comprensión de procesos dinámicos y la

integración conceptual compleja. Esta complementariedad metodológica sugiere que futuras intervenciones deberían integrar secuencialmente ambos enfoques para maximizar los logros de aprendizaje, combinando momentos de exposición estructurada con espacios de construcción creativa de representaciones visuales.

Finalmente, el estudio contribuye a la formación ciudadana y ambiental al promover una comprensión científicamente fundamentada de la fotosíntesis, proceso clave para comprender el flujo de energía en los ecosistemas y la importancia de las plantas en el equilibrio ambiental. Esta comprensión resulta esencial para formar ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas frente a los desafíos ambientales actuales (Hoban & Nielsen, 2013; Farrokhnia, Hoban, & Keast, 2020). Asimismo, el diagnóstico inicial y los análisis de equivalencia entre grupos que se desarrollan en capítulos posteriores permiten caracterizar con mayor precisión el punto de partida conceptual del estudiantado, proporcionando una base sólida para la planificación de la intervención didáctica que se implementa y analiza en el Capítulo 4.

CÁPITULO 2: MARCO TEÓRICO

La Estructura Del Marco Teórico

La comprensión de procesos biológicos complejos como la fotosíntesis representa uno de los mayores desafíos en la enseñanza de las ciencias naturales, particularmente debido a la naturaleza abstracta y microscópica de los fenómenos involucrados. Esta problemática se ve agravada por la persistencia de concepciones alternativas que los estudiantes mantienen incluso después de recibir instrucción formal, lo que limita el desarrollo de una comprensión científica adecuada (Charrier Melillán et al., 2006).

El marco teórico de esta investigación se organiza en un conjunto de dimensiones conceptuales y empíricas que proporcionan el sustento científico y pedagógico del estudio.

En primer lugar, se considera la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2005), que establece principios fundamentales sobre cómo las personas procesan información cuando se presenta de manera multimodal y constituye la base para la implementación de recursos audiovisuales en la enseñanza de la fotosíntesis. A continuación, se abordan los modelos mentales y las concepciones alternativas en ciencias, entendidos como estructuras internas que orientan la interpretación de los fenómenos y que, en muchos casos, mantienen ideas erróneas resistentes al cambio conceptual. También se incorpora el enfoque de la investigación-acción, que permite articular teoría y práctica mediante ciclos de planificación, acción, observación y reflexión orientados a la mejora continua de la enseñanza.

Sobre estos fundamentos teóricos se integran distintos antecedentes empíricos y contextuales. Se revisan, por una parte, las dificultades y concepciones alternativas específicas que el estudiantado presenta respecto de la fotosíntesis, así como las evidencias sobre el uso de animaciones y recurso multimedia para la enseñanza de procesos celulares complejos. Además, se consideran experiencias previas con animaciones stop motion en educación científica, que muestran su potencial para favorecer la comprensión de procesos dinámicos cuando el propio estudiantado participa en la construcción de las secuencias animadas.

Finalmente, se incorpora el marco curricular chileno y los aspectos bioquímicos de la fotosíntesis como referentes que permiten contextualizar la intervención en el sistema educativo nacional, así como investigaciones que documentan estrategias didácticas apoyadas en TIC para abordar concepciones alternativas en este contenido

Desde esta perspectiva, en primer lugar, se presentan los fundamentos teóricos que orientan el diseño de la intervención y la interpretación de los resultados. Estos referentes permiten delimitar cómo se concibe el aprendizaje en contextos multimedia, de qué manera se estructuran los modelos mentales del estudiantado y bajo qué enfoque se entiende la mejora de la práctica docente.

Teoría Cognitiva Del Aprendizaje Multimedia

En continuidad con la estructura del marco teórico, que articula dimensiones cognitivas, curriculares y bioquímicas, resulta necesario profundizar en los aportes de la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia, pues entrega fundamentos específicos para comprender cómo los estudiantes procesan información compleja cuando esta se presenta mediante combinaciones de palabras e imágenes. Desde esta perspectiva, se revisan a continuación los principales postulados de Mayer y otros autores clave, con el propósito de justificar el diseño de recursos didácticos basados en animaciones stop motion para la enseñanza de la fotosíntesis.

A finales de la década de 1980, el surgimiento de la multimedia y las nuevas capacidades gráficas y sonoras de los computadores impulsaron a diversos investigadores a explorar cómo estas herramientas podían potenciar el aprendizaje (Loterio, 2012). En este contexto, la Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 1994) y, posteriormente, la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (Mayer, 2005) se consolidaron como marcos conceptuales dentro de las ciencias cognitivas, con el objetivo de optimizar los entornos multimedia y de e-learning (Chong, 2005).

El deseo de comprender cómo la integración de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación influye en los procesos de aprendizaje implica la necesidad de

analizar cómo se procesa la información en la mente humana y de determinar la manera óptima de presentarla al estudiante para alcanzar los objetivos propuestos (Latapie, 2007). Según este autor, existen tres posibles resultados de una intervención educativa: (1) que no haya aprendizaje, (2) que el aprendizaje sea memorístico o (3) que el aprendizaje sea significativo.

El aprendizaje significativo ocurre, según Díaz-Barriga (2005, p. 428, citado en Latapie, 2007), cuando la información nueva se relaciona con la información previa ya existente en la estructura cognitiva del aprendiz. De manera complementaria, Raviolo (2019) explica que la comprensión profunda —o aprendizaje— se produce cuando el estudiante logra establecer conexiones significativas entre imágenes y palabras. Según el autor, el esfuerzo mental de integrar estas representaciones y otorgarles sentido a partir del conocimiento previo da lugar a aprendizajes más sólidos, que van más allá de simplemente recordar o reconocer, permitiendo además que se apliquen o transfieran a otros contextos y a la resolución de problemas.

Mayer (2005) manifiesta que existen dos propósitos principales en el aprendizaje: recordar y entender. Para este autor, recordar consiste en retener la información y reproducir o reconocer el material presentado, mientras que entender es la habilidad de utilizar el material en situaciones nuevas.

El término multimedia tiene un origen etimológico latino; “multi” significa “numeroso” y “media”, plural de “medium”, se traduce como “medios” o “intermediarios”. Mayer (2005, p. 2) la define como “la presentación del material verbal y pictórico; donde el material verbal se refiere a las palabras, como texto impreso o hablado, y el material pictórico abarca imágenes estáticas (ilustraciones, gráficas, diagramas, mapas, fotografías) y también imágenes dinámicas (animaciones, simulaciones o video)”.

El aprendizaje multimedia se caracteriza porque el aprendiz logra la construcción de representaciones mentales ante esta presentación, es decir, construye conocimiento (Mayer, 2005).

La premisa central de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia es: “Se aprende más profundamente una información si es presentada con palabras e imágenes más que con palabras solas” (Raviolo, 2019). Esta teoría, defendida principalmente por Richard Mayer, profesor de la Universidad de California en Santa Barbara, expone en su obra *Multimedia Learning* (Mayer, 2009) una serie de postulados y principios dirigidos a responder preguntas clave sobre cómo las personas aprenden con recursos multimedia, la efectividad de combinar imágenes con palabras, y el diseño óptimo de estos materiales para favorecer la comprensión.

Según Mayer (2009, citado en Raviolo, 2019), la teoría descansa en tres suposiciones fundamentales:

- a) Suposición del canal dual: las personas procesan la información en dos canales separados: uno auditivo/verbal y otro visual/pictórico (Paivio, 1986; Baddeley, 1992). Utilizar más de un canal mejora la codificación y recuperación de la información.
- b) Suposición de la capacidad limitada: cada canal tiene una capacidad limitada; la memoria de trabajo puede retener solo un número limitado de palabras e imágenes simultáneamente (Chandler y Sweller, 1991; Baddeley, 1992).
- c) Suposición del procesamiento activo: el aprendizaje exige que las personas se involucren activamente atendiendo la información relevante, organizándola en representaciones mentales coherentes e integrándola con su conocimiento previo (Wittrock, 1989; Mayer, 2008).

Entender cómo se procesa la información en la mente humana a través de múltiples canales sensoriales, como plantea la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, es fundamental para diseñar recursos educativos efectivos (Mayer, 2005; Raviolo, 2019). En este contexto, la animación stop motion se presenta como una herramienta didáctica potente que aprovecha dicha teoría al combinar imágenes y palabras en un formato accesible y creativo, permitiendo al estudiantado generar representaciones propias que

favorecen un aprendizaje activo y profundo de conceptos científicos complejos (Farrokhnia et al., 2020; Hoban y Nielsen, 2013).

La teoría cognitiva del aprendizaje multimedia postula que los estudiantes procesan la información a través de canales visuales y verbales de forma simultánea, lo que potencia la construcción de representaciones mentales más profundas cuando se combinan palabras e imágenes (Mayer, 2009). Este enfoque enfatiza la capacidad limitada de la memoria de trabajo y la necesidad de promover un procesamiento activo, de modo que el diseño de materiales educativos evite la sobrecarga cognitiva y fomente la integración significativa del conocimiento (Sweller, 1994). En el contexto de la enseñanza de la fotosíntesis, aplicar estos principios permite diseñar recursos que presenten dinámicamente las fases luminosa y oscura, facilitando la comprensión de procesos bioquímicos complejos.

En síntesis, la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia destaca que el aprendizaje profundo se favorece cuando el estudiantado procesa de manera activa información presentada a través de canales verbales y visuales, respetando los límites de la memoria de trabajo y evitando la sobrecarga cognitiva. Estos principios ofrecen un marco sólido para sustentar el uso de animaciones stop motion en el estudio de la fotosíntesis, al posibilitar la representación dinámica de procesos bioquímicos complejos y promover la construcción de modelos mentales más coherentes y significativos.

Ideas Previas Y Modelos Mentales En La Enseñanza De Las Ciencias

Complementando la mirada cognitiva sobre el procesamiento de la información multimedia, es imprescindible considerar las ideas previas y los modelos mentales que el estudiantado pone en juego al aprender ciencias naturales. Esta dimensión resulta especialmente relevante en contenidos como la fotosíntesis, donde las concepciones alternativas y las representaciones intuitivas pueden obstaculizar o favorecer la integración de nuevos significados, condicionando el impacto real de las intervenciones didácticas.

El análisis de las representaciones y su rol en el aprendizaje se ha convertido en un eje central de la didáctica de las ciencias, destacando la relevancia de comprender tanto las representaciones que elaboran los estudiantes como las que proponen los docentes (Tamayo et al., 2014). Dentro de este marco, los modelos mentales surgen como una forma de representación cognitiva que, según Johnson-Laird (1983, 1991) y Nersessian (2008), evidencian las creencias de los individuos sobre determinados sistemas; es decir, existen en la medida en que reflejan la forma en que el sujeto interpreta el mundo real. Estos modelos, no obstante, se caracterizan por su dinamismo, su carácter incompleto y por estar en constante transformación producto de la interacción con el contexto (Tamayo et al., 2014).

Los primeros estudios sobre modelos mentales en el ámbito educativo se enfocaron en identificar las representaciones internas que los estudiantes construyen en áreas específicas del conocimiento. Actualmente, el enfoque se ha desplazado hacia comprender la construcción, transformación y uso de estas representaciones, explorando su estructura en el razonamiento individual y su aplicación en la generación de aprendizajes significativos (Tamayo et al., 2014). Investigaciones recientes enfatizan, por ejemplo, en la relevancia de los modelos mentales asociados a procesos como la respiración, la nutrición, el ejercicio, la fotosíntesis y la ecología, estudiando sus interrelaciones y funciones (Barak, Sheva & Gorodetsky, 1999; Tamayo, 2009; Waheed & Lucas, 1992; Hogan & Fisherkeller, 1996; Leach, Driver, Scott & Wood-Robinson, 1996).

Desde esta perspectiva, aprender ciencias naturales supone reconocer que los estudiantes crean modelos mentales a partir de sus propias ideas previas y experiencias. Estas concepciones iniciales influyen decisivamente en la integración y resignificación de nuevos conocimientos. Por ello, se considera fundamental identificar y valorar activamente tales ideas al momento de diseñar secuencias didácticas, estableciendo una progresión significativa que prevenga la persistencia de errores conceptuales. Así, las propuestas curriculares deben propiciar una evolución gradual de estas estructuras mentales, fomentando la resignificación

de ideas previas y el desarrollo de comprensiones más profundas y científicas a lo largo de la trayectoria escolar (Tamayo et al., 2014).

En investigaciones didácticas como la presente, la recuperación de ideas previas y la identificación de modelos mentales permiten reconocer los principales obstáculos que enfrenta el estudiantado en la apropiación de los conceptos científicos (Tamayo et al., 2014). Estos obstáculos, según Bachelard (1994), deben ser abordados como retos permanentes que requieren acciones concretas para ser superados. En esta línea, Tamayo (2014) señala que dichos obstáculos ocupan en la estructura cognitiva de los estudiantes el mismo espacio que debieran ocupar los saberes científicos, oponiéndose, por tanto, de manera directa a los objetivos educativos. La explicitación, el análisis y el uso pedagógico de las ideas previas constituyen, en consecuencia, el punto de partida para una enseñanza de enfoque constructivista (Ausubel, Novak & Hanesian, 1983; Driver, 1988; Coll, 1994).

Una de las estrategias más eficaces para indagar en el estado de comprensión del alumnado es el uso de dibujos, considerados herramientas de investigación simples y comparables internacionalmente (Köse, 2008; Prokop & Fancovicová, 2006). Los dibujos realizados por los estudiantes funcionan como una ventana a sus pensamientos, pues plasman imágenes que reflejan cómo conceptualizan los fenómenos científicos (Thomas & Silk, 1990). De este modo, es posible acceder a los modelos mentales con los que operan y, a partir de ellos, facilitar procesos de reestructuración hacia estructuras más elaboradas y funcionales (Gómez & Gavidia, 2015; Ausubel, 2002). En concordancia con lo planteado por Kemmis y McTaggart (1988), esta etapa diagnóstica debe estar orientada a comprender el contexto educativo y a evaluar la pertinencia de las acciones a implementar.

Las ideas previas constituyen la base sobre la cual los alumnos construyen nuevos conocimientos, de modo que identificar y confrontar esas concepciones alternativas resulta esencial para lograr aprendizajes significativos (Johnson-Laird, 1983; Tamayo et al., 2014).

De este modo, el análisis de ideas previas y modelos mentales se configura como un referente clave para interpretar los cambios en la comprensión de la fotosíntesis que se produzcan durante la intervención, así como para valorar el alcance de las animaciones stop motion en la reestructuración conceptual del alumnado. Esta perspectiva enlaza directamente con la necesidad de contar con un enfoque metodológico que permita al profesorado indagar sistemáticamente en su propia práctica y en las transformaciones de dichas representaciones, cuestión que se aborda en el siguiente apartado dedicado al fundamento teórico de la investigación-acción.

Fundamento Teórico De La Investigación – Acción

Tras revisar los aportes de la psicología cognitiva y de la didáctica de las ciencias al estudio del aprendizaje de la fotosíntesis, se vuelve necesario definir el enfoque metodológico que orienta esta investigación. En este contexto, la investigación-acción se presenta como una opción particularmente pertinente, al permitir integrar la reflexión sistemática sobre la propia práctica docente con la implementación de recursos multimedia innovadores, como las animaciones stop motion, en un contexto escolar real.

La investigación-acción (IA) se configura como una metodología participativa, reflexiva y transformadora, ampliamente reconocida por su relevancia en la mejora de la práctica educativa y el desarrollo profesional docente (Carr & Kemmis, 1988; Schön, 1992). En este sentido, resulta fundamental comprender sus bases epistemológicas para valorar su aporte en los procesos de intervención e investigación en contextos escolares.

Desde la perspectiva epistemológica, Schön (1992) distingue entre la racionalidad técnica, que posiciona al profesorado como mero usuario de un saber científico externo, y la reflexión en la acción, donde el profesional es agente activo que redefine situaciones problemáticas y vincula inextricablemente el saber con el hacer. Esta visión reconoce que la resolución de problemas reales en la educación requiere reflexión, juicio deliberativo y adaptación, superando la perspectiva técnica tradicional. Complementando esta mirada, Carr y

Kemmis (1988) enfatizan la dimensión crítico-social de la investigación-acción. Para estos autores, la educación debe comprenderse como una actividad impregnada de valores éticos, sociales y políticos. De este modo, la investigación-acción implica una reflexión autocrítica sobre la práctica y su contexto, promoviendo cambios substanciales a partir de la toma de conciencia y el cuestionamiento sistemático de lo educativo.

En cuanto a su aplicación metodológica, Latorre (2005) resalta que la investigación-acción se realiza en el propio espacio educativo, con protagonismo del profesorado, respondiendo a problemas concretos con el objetivo de mejorar, innovar y comprender los procesos pedagógicos. El ciclo de IA incluye fases bien definidas de planificación, acción, observación y reflexión, donde el análisis sistemático de los datos otorga legitimidad científica al proceso.

Dentro de este marco, la investigación-acción se caracteriza, en primer lugar, por su naturaleza participativa y colaborativa, en la que los actores implicados trabajan en comunidad para la mejora colectiva (Kemmis & McTaggart, 1988; Lomax, 1995; Zuber-Skerritt, 1992). Asimismo, se entiende como un proceso reflexivo y sistemático, que facilita la revisión constante de ideas y prácticas desde una perspectiva ética y educativa (Elliott, 1993). A esto se suma su potencial emancipador y político, ya que busca transformaciones más profundas tanto en las prácticas educativas como en el entramado social en que estas se desarrollan (Kemmis, 1988; Zuber-Skerritt, 1992).

Un aspecto clave es la integración entre teoría y práctica; la teoría educativa, lejos de ser abstracta, debe construirse desde la experiencia reflexiva y ser validada colectivamente en la comunidad educativa (Elliott, 1993; Lomax, 1995). De este modo, la investigación-acción se concibe como un proceso progresivo y expansivo que puede iniciar con pequeñas acciones y evolucionar hacia soluciones de mayor alcance, siempre contextualizadas según las necesidades de los participantes (Kemmis & McTaggart, 1988). Asimismo, la ética ocupa un lugar central en la investigación-acción, exigiendo la protección y el respeto de la

confidencialidad, transparencia y consentimiento de los participantes a lo largo de todo el proceso (Latorre, 2005). Además, la bibliografía reconoce tres enfoques principales de investigación-acción: el técnico, centrado en la eficacia de programas diseñados externamente; el práctico, que otorga agencia y protagonismo al profesorado; y el crítico o emancipador, que busca la transformación crítica tanto de la práctica como de su contexto (Carr & Kemmis, 1988; Zuber-Skerritt, 1992).

En relación con los modelos de investigación-acción, todos se inspiran en la espiral cíclica propuesta por Lewin (1946), donde cada ciclo de idea, planificación, acción y evaluación retroalimenta el siguiente. Kemmis (1989) desarrolla esta idea mediante un modelo espiral autorreflexivo que integra las fases de planificación, acción, observación y reflexión. Elliott (1993), por su parte, propone una versión más detallada que incluye identificación del problema, formulación de hipótesis, implementación, evaluación y reformulación. Whitehead (1989) complementa estos modelos con una propuesta que conecta la teoría educativa y el desarrollo profesional docente desde la propia práctica, priorizando la coherencia entre ambos ámbitos.

En síntesis, la investigación-acción constituye una metodología eminentemente democrática, ética y transformadora, que posibilita a los docentes investigar sus propias prácticas, generar cambios significativos en el aprendizaje y contribuir a la mejora de las condiciones sociales y profesionales inherentes al entorno educativo. En definitiva, la investigación-acción ofrece un marco teórico sólido que respalda procesos de cambio educativo reflexivo y participativo, permitiendo a los docentes actuar como investigadores de su propia práctica y agentes activos en la mejora del aprendizaje de conceptos complejos, como la fotosíntesis.

La investigación-acción se configura como la metodología más apropiada para el análisis reflexivo y sistemático de las intervenciones basadas en animaciones multimedia, al integrar ciclos de planificación, acción, observación y reflexión que permiten optimizar la

práctica docente en tiempo real (Elliott, 1993; Kemmis & McTaggart, 1988). Este enfoque participativo y crítico-social exige la implicación de los actores educativos en la generación de conocimiento situado, garantizando al mismo tiempo la validez interna y la pertinencia contextual de los hallazgos (Carr & Kemmis, 1988; Latorre, 2005). La investigación-acción, por tanto, articula teoría y práctica, ofreciendo un marco ético y metodológico para la mejora continua de la enseñanza de la fotosíntesis mediante animaciones stop motion.

En conjunto, estos aportes teóricos entregan el marco conceptual desde el cual se comprende el aprendizaje de la fotosíntesis y se justifica la elección de una intervención basada en animaciones stop motion. Sobre esta base, resulta necesario revisar también la evidencia empírica disponible acerca de las dificultades reales que enfrentan los estudiantes y de las experiencias previas con recursos multimedia en la enseñanza de este contenido.

En segundo lugar, se abordan los antecedentes empíricos y el estado del arte, centrados en tres ámbitos estrechamente relacionados. Por una parte, se sintetizan las investigaciones que documentan las dificultades y concepciones alternativas que el estudiantado presenta respecto de la fotosíntesis; por otra, se revisan estudios que exploran el uso de animaciones y recursos multimedia en la enseñanza de procesos biológicos, incluyendo experiencias específicas con animaciones stop motion en educación científica.

Concepciones En Relación Con La Fotosíntesis Y La Necesidad De Enfoques Didácticos Actualizados

En este contexto, antes de abordar de manera específica las potencialidades de las animaciones y recursos multimedia, resulta imprescindible caracterizar las concepciones que el estudiantado mantiene sobre la fotosíntesis y las dificultades que estas implican para el aprendizaje. Este apartado presenta una síntesis de la evidencia empírica disponible sobre ideas previas y concepciones alternativas en torno a la fotosíntesis, con el propósito de justificar la necesidad de enfoques didácticos actualizados que respondan a dichos obstáculos conceptuales.

El artículo de Charrier Melillán, Cañal y Rodrigo Vega (2006) realiza una exhaustiva revisión bibliográfica de estudios desde los años ochenta que documentan las concepciones alternativas que los estudiantes poseen respecto a la fotosíntesis y la respiración. Se identifica una persistente dificultad en la comprensión de ambos procesos, influenciada por múltiples factores como la actuación docente, los currículos y los textos escolares, los cuales contribuyen a la presencia de errores conceptuales que persisten incluso después de la instrucción formal.

En particular, las concepciones previas de los estudiantes sobre la fotosíntesis — ampliamente documentadas en dicho artículo— reflejan una serie de ideas erróneas e incompletas que dificultan una comprensión científica adecuada del proceso. Entre las más comunes se encuentran:

- a. Muchos estudiantes, especialmente los más pequeños, creen que las plantas obtienen todo su alimento directamente del suelo por medio de las raíces.
- b. Las definiciones acerca de la fotosíntesis están poco relacionadas con el concepto científico, viéndola simplemente como un proceso para que las plantas crezcan o vivan.
- c. Desconocen la función de la hoja, y algunos piensan que sirve para captar agua de lluvia o recibir alimentos.
- d. La clorofila es ignorada o se le atribuyen funciones incorrectas, como ser la sangre de las plantas o un alimento.
- e. Confunden el papel del dióxido de carbono y del oxígeno.
- f. Creen que los gases necesarios para la fotosíntesis se absorben por raíces y tallos, no por las hojas.
- g. Confunden fotosíntesis con respiración.
- h. Mantienen creencias de sentido común erróneas, como que “no se puede dormir con plantas en la habitación porque consumen oxígeno”.
- i. Piensan que las plantas fotosintetizan solo de día y respiran solo de noche.
- j. Ignoran si la luz es necesaria o le atribuyen funciones no científicas, como dar color o salud a la planta.

- k. La transformación de energía solar en energía química se menciona poco o nada.
- l. Para muchos, la energía asociada a la fotosíntesis solo produce calor.
- m. Desconocen dónde queda almacenada la energía resultante.
- n. Creen que las plantas utilizan la energía solar solo para mantenerse saludables.
- o. Rara vez mencionan la producción de hidratos de carbono, como el almidón, dentro del proceso.

Estas concepciones, sumadas a otros factores, evidencian la necesidad de un enfoque didáctico que tome en cuenta las ideas previas de los estudiantes y propicie experiencias significativas para superar las concepciones alternativas, acercando al alumnado a un entendimiento científico profundo de la fotosíntesis (Charrier Melillán, Cañal, & Rodrigo Vega, 2006).

Para ello, los autores sostienen que es indispensable que el docente considere lo siguiente:

- Partir del diagnóstico preciso de las ideas previas de los estudiantes.
- Emplear recursos y actividades que faciliten la observación directa y la experimentación.
- Estimular la reflexión y la construcción colaborativa de conocimiento.
- Desafiar explícitamente los conceptos erróneos a través de analogías, modelos y representaciones dinámicas.

Este planteamiento fundamenta el interés por metodologías activas y participativas, como el aprendizaje basado en retos y el uso de animaciones generadas por los propios estudiantes, que potencian la internalización de conceptos complejos y facilitan la transferencia del aprendizaje a nuevos contextos (Charrier Melillán et al., 2006; Molina, 2012; González et al., 2020).

Complementariamente, Molina (2012) sostiene que la construcción y asimilación de las concepciones científicas respecto a la fotosíntesis están muy influenciadas no solo por las ideas previas de los estudiantes, sino también por las concepciones alternativas de los docentes y los

textos escolares. En consecuencia, enfatiza la importancia de que los profesores reconozcan y trabajen explícitamente con estas concepciones para transformar los entendimientos erróneos en conocimientos científicos sólidos.

El aprendizaje activo, entendido como la implicación directa y significativa del estudiante en la construcción de su conocimiento científico, ha demostrado ser una forma eficaz de superar esta problemática (Molina, 2012). Estrategias que promueven la confrontación y reestructuración de concepciones alternativas, mediante experiencias prácticas, representaciones visuales e integración conceptual, favorecen el desarrollo de modelos mentales más precisos y una comprensión profunda del proceso fotosintético (González, Barrios, Fernández, & Rosa, 2020; Harlen, 1999).

En síntesis, la transformación conceptual requiere un abordaje didáctico integrador que considere las ideas previas, utilice recursos adecuados y propicie experiencias significativas para promover un aprendizaje profundo y duradero sobre la fotosíntesis (Charrier Melillán et al., 2006; Molina, 2012).

La superación de las concepciones alternativas en la enseñanza de la fotosíntesis exige el diseño e implementación de estrategias didácticas que integren representaciones dinámicas, interactividad y participación del estudiantado. Entre dichas estrategias, el uso de animaciones stop motion y otros recursos multimedia se perfila como una opción idónea para evidenciar los procesos bioquímicos invisibles a simple vista y generar conflictos cognitivos que promuevan la resignificación conceptual (Charrier Melillán, Cañal, & Rodrigo Vega, 2006; Farrokhnia, Meulenbroeks, & van Joolingen, 2020). Al emplear material audiovisual que combina imágenes estáticas y movimiento secuenciado, se aprovechan los canales duales de procesamiento cognitivo y se reduce la carga de memoria de trabajo, facilitando conexiones significativas entre los elementos de la fotosíntesis (Mayer, 2009; Mayer, 2005).

En conjunto, estos antecedentes muestran que las concepciones alternativas sobre la fotosíntesis son persistentes, se alimentan de diversas fuentes y no se modifican únicamente

mediante la instrucción tradicional, lo que refuerza la urgencia de diseñar propuestas de enseñanza que integren diagnóstico, confrontación y reconstrucción conceptual. Sobre esta base, el siguiente apartado se centra en el potencial de las animaciones y, en particular, de la animación stop motion como recurso didáctico que permite representar de forma dinámica procesos invisibles, generando experiencias de aprendizaje activo orientadas a superar dichas concepciones erróneas o incompletas.

Animación Stop Motion En Educación

Consideradas las dificultades conceptuales asociadas a la fotosíntesis, resulta pertinente revisar las aportaciones de la literatura acerca del uso de animaciones en educación científica, poniendo especial énfasis en las producciones generadas por los propios estudiantes. En este apartado se examina la animación stop motion como estrategia didáctica, describiendo sus fundamentos, ventajas y condiciones de implementación, así como la evidencia disponible sobre su impacto en la construcción de representaciones científicas más elaboradas.

Los beneficios del aprendizaje son mayores cuando los estudiantes generan sus propias representaciones, en lugar de trabajar con representaciones generadas por expertos (Kozma y Russell 2005; Wu y Putambeker 2012, en Farrokhnia et. al. 2020).

Farrokhnia et. al. (2020), establece que las representaciones generadas por los estudiantes se han utilizado para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos científicos (Hubber et. al. 2010; Zhang y Linn 2011), para hacer conexiones con el conocimiento previo (Akaygun y Jones 2013), para identificar conflictos entre sus ideas (Chi 2009) y para proporcionar comentarios sobre la comprensión de los estudiantes (Stieff et. al 2005). Pueden ayudar a los estudiantes a convertirse en algo más que consumidores de conocimiento (Danish y Enyedy 2007), convirtiéndose en estudiantes activos (Disessa y Sherin 2000; Yaseen y Aubusson 2018). Estas ventajas se han demostrado en una variedad de representaciones generadas por los estudiantes, como los diagramas (Davidowitz et. al 2010; Gobert y Clement

1999), bocetos (Quillin y Thomas 2015), animaciones (Nordin y Osman 2018) y simulaciones (Olde y de Jong 2004).

Hoban (2009) distingue tres formas principales de animación que pueden ser realizadas por estudiantes: dibujada, stop – motion y animación basada en computadora.

La animación stop – motion implica tomar fotografías fijas digitales de objetos o imágenes después de que se hayan movido manualmente para simular el movimiento (Farrokhnia et. al. 2020). Esta técnica se puede aplicar en casi todos los niveles de edad desde la primera infancia hasta aulas universitarias (Hoban y Nielsen 2013).

Hoban y Nielsen (2013), argumentan que la animación tiene dos ventajas claves por sobre los otros tipos. En primer lugar, su simplicidad inherente significa que los estudiantes pueden aprender fácil y rápidamente la técnica. En segundo lugar. Solo requiere elementos tecnológicos de uso cotidiano, como un celular o una cámara fotográfica digital y un computador para generar la ilusión de movimiento.

Además, dado que la animación se crea fotograma por fotograma y se puede reproducir en cámara lenta (Macdonald y Hoban 2009), los estudiantes informaron que tenían suficiente tiempo para comprender los conceptos subyacentes (Hoban 2007).

Keast et. al. (2010) encontraron que el enfoque demostró ser más efectivo cuando solía presentar un concepto científico que es pequeño, autónomo y fácil de dividir y representar, preferentemente relacionados con su vida diaria. Peter et. al. (2011) informaron que el stop motion generado por los estudiantes mejora el aprendizaje, especialmente para el contenido que involucra eventos dinámicos, por ejemplo, fase lunar o división celular. En términos de carga cognitiva, Kidman y Hoban (2009) afirmaron que cuando un tema requiere de esfuerzo de representación considerable, la carga cognitiva se centra en la representación, en lugar de los procesos científicos. Farrokhnia (2020), destaca dentro de sus hallazgos que la adición de narración a la animación puede mejorar los resultados de aprendizaje en ciencias.

Además, la creación colaborativa de estas animaciones fomenta habilidades transversales, como la comunicación, la cooperación y el pensamiento crítico, que complementan el aprendizaje conceptual (Farrokhnia et al., 2020). Las evidencias señalan que quienes toman un rol activo en la elaboración de estas animaciones logran mejores resultados en el reconocimiento, explicación y aplicación de los conceptos científicos (Kidman & Hoban, 2012).

Kidman et. al. Y Kidman (2012, 2015) sostienen que el aprendizaje profundo – durante el desarrollo de una animación – no ocurre automáticamente y se necesitan técnicas de andamiaje en forma de: (1) respaldo explícito para tener en cuenta los elementos y comportamientos tanto previos como durante la elaboración de las animaciones (Wilkerson et al., 2018); (2) análisis de las similitudes y diferencias entre las animaciones creadas por estudiantes y por expertos (Nielsen y Hoban, 2015; Yaseen y Aubusson, 2018); (3) preguntas formuladas por el profesorado que enfatizan los aspectos científicos de la animación y estimulan el pensamiento crítico en el alumnado (Mills et al., 2018a; Wilkerson et al., 2018; Yaseen y Aubusson, 2018); (4) enseñanza de los modos de discurso y de las habilidades para el debate en el aula y el aprendizaje colaborativo (Brown et al., 2013); y (5) implementación de rúbricas para la evaluación entre pares (Kamp y Deaton, 2013).

En cuanto a la colaboración entre estudiantes en la elaboración de una animación, se deben tener en cuenta factores cruciales como la composición del grupo (Wishart, 2017), la población demográfica y el tamaño del grupo (Brown et. al. 2013).

Farrokhnia et. al. (2020) concluye en su investigación que los estudios sobre los efectos pedagógicos de las animaciones generadas por los estudiantes en clases de ciencias son mayoritariamente de tipo cualitativos, por lo cual sugiere la necesidad de realizar investigaciones de tipo cuantitativas en el campo. Hoban et. al. (2011) y Hoban y Nielsen (2013) sugieren implementar diseños experimentales o cuasi experimentales que generen datos para comparar resultados de aprendizajes con los de otras formas de instrucción.

La animación stop motion se configura como una estrategia didáctica que articula el canal visual con el canal verbal, permitiendo a los estudiantes construir explicaciones científicas a través de la creación de secuencias animadas (Hoban & Nielsen, 2013). Al desplazar el foco de la enseñanza de representaciones expertas a producciones generadas por los propios alumnos, esta técnica promueve la reflexión metacognitiva y la resolución de conflictos conceptuales, al obligar al alumnado a segmentar, representar y narrar procesos dinámicos (Farrokhnia, Meulenbroeks, & van Joolingen, 2020). Además, su simplicidad tecnológica posibilita su implementación en contextos con recursos limitados, enriqueciendo la práctica pedagógica sin requerir equipos especializados.

Los estudios revisados indican que la animación stop motion favorece no solo la comprensión de procesos científicos dinámicos, sino también el desarrollo de habilidades metacognitivas y colaborativas, siempre que su uso se acompañe de andamiajes pedagógicos adecuados. A partir de estas fortalezas, el siguiente título se orienta a precisar cómo esta técnica, junto con otros recursos multimedia, puede ser integrada como estrategia específica para la enseñanza de la fotosíntesis, articulando los principios del aprendizaje multimedia con los requerimientos conceptuales del contenido

Estrategias Didácticas Específicas Para La Enseñanza – Aprendizaje De La Fotosíntesis: Uso De Animación Y Recursos Multimedia

Tras contextualizar las concepciones alternativas del estudiantado y las potencialidades de la animación stop motion, se vuelve necesario delimitar las estrategias didácticas concretas que orientan la enseñanza de la fotosíntesis en esta propuesta. En este apartado se presentan enfoques y recursos multimedia específicos, con énfasis en la animación stop motion, que buscan apoyar la construcción de modelos mentales científicos sobre la fotosíntesis mediante actividades activas, secuenciadas y coherentes con los principios del aprendizaje multimedia.

Fundamentos De Las Animaciones Stop-Motion En Educación Científica

La animación stop-motion consiste en la captura fotograma a fotograma de objetos o dibujos que, al ser reproducidos de manera continuada, generan la ilusión de movimiento (Farrokhnia et al., 2020). En el contexto de la enseñanza de la fotosíntesis, los estudiantes pueden crear animaciones que representen cada fase del proceso, desde la captación de luz solar, absorción de dióxido de carbono y agua, hasta la producción de glucosa y liberación de oxígeno (Hoban & Nielsen, 2013).

Esta modalidad promueve la planificación, la colaboración y el análisis crítico, ya que los estudiantes deben diseñar y representar simbólicamente las moléculas y estructuras involucradas, por ejemplo, mediante modelos con plastilina para representar moléculas de CO₂, H₂O o cloroplastos, siguiendo las reacciones bioquímicas del proceso (Macdonald & Hoban, 2009). El uso activo y creativo de la animación facilita la articulación de conocimientos previos y conceptos científicos, haciendo explícitos los procesos y permitiendo detectar y corregir ideas erróneas comunes en el aprendizaje de la fotosíntesis, como la confusión entre fotosíntesis y respiración celular (Peter et al., 2011).

Evidencia Empírica Sobre Animaciones Multimedia En Fotosíntesis

La investigación reciente sobre la didáctica de la fotosíntesis evidencia que el uso de animaciones y recursos multimedia representa una alternativa innovadora y eficaz para potenciar la comprensión y el rendimiento académico en este tema. Diversos estudios empíricos han demostrado que estos recursos digitales, al permitir la representación visual y dinámica de procesos celulares complejos, favorecen la superación de barreras conceptuales comunes en la educación científica.

Capuno (2016) realizó un estudio cuasi-experimental que evidencia cómo el uso de animaciones alternativas y modelos 3D mejora significativamente la comprensión y los logros académicos de los estudiantes en el aprendizaje de la fotosíntesis, gracias a la interactividad y riqueza visual que ofrecen estos recursos. Los resultados revelaron diferencias significativas en

el rendimiento general de los estudiantes, específicamente en los niveles de conocimiento y comprensión, aunque no se observaron mejoras en los niveles de proceso y desempeño.

De manera complementaria, Fermani y Georgiou (2023) documentan la efectividad del enfoque basado en la indagación mediado por la plataforma digital Go-LAB, donde animaciones y presentaciones multimedia permiten profundizar conceptos y superar ideas alternativas, especialmente en estudiantes de secundaria. Su investigación con 92 estudiantes demostró que el aprendizaje basado en indagación a través de esta plataforma digital mejoró significativamente la comprensión del concepto de fotosíntesis, con efectos de aprendizaje positivos independientes del género.

Russell et al. (2004) desarrollaron un paquete multimedia interactivo llamado "Photosynthesis in Silico" que, mediante simulaciones y representaciones audiovisuales, facilita la comprensión profunda de los procesos fotosintéticos a nivel universitario. Este recurso combina animaciones del transporte electrónico fotosintético con simulaciones experimentales de intercambio gaseoso y fluorescencia de clorofila, proporcionando acceso a técnicas experimentales avanzadas y teorías actualizadas.

Teplá y Klímová (2014) presentaron un programa de animaciones dinámicas validado pedagógicamente para la enseñanza universitaria de la fotosíntesis, desarrollado en Adobe Flash. Su programa fue evaluado por ocho profesores de química de secundaria, quienes confirmaron su efectividad para el aprendizaje conceptual y la visualización de etapas complejas del proceso fotosintético, especialmente las reacciones luminosas y el ciclo de Calvin.

Goff et al. (2017) estudiaron el uso de representaciones externas —incluidas las animaciones del proyecto Virtual Cell— y concluyeron que estas herramientas favorecen la comprensión de estructuras celulares y moléculas difíciles de visualizar mediante métodos tradicionales. Sus investigaciones demostraron que los módulos de aprendizaje basados en

animaciones transmitieron efectivamente la comprensión conceptual, sugiriendo que pueden facilitar el aprendizaje estudiantil fuera del aula.

Ventajas Específicas Del Stop Motion En Procesos Biológicos

Hoban y Nielsen (2013) argumentan que la animación stop-motion tiene ventajas clave sobre otros tipos de animaciones. En primer lugar, su simplicidad inherente significa que los estudiantes pueden aprender fácil y rápidamente la técnica. En segundo lugar, solo requiere elementos tecnológicos de uso cotidiano, como un celular o una cámara fotográfica digital y un computador para generar la ilusión de movimiento.

Macdonald y Hoban (2009) destacan que, dado que la animación se crea fotograma por fotograma y se puede reproducir en cámara lenta, los estudiantes reportan tener suficiente tiempo para comprender los conceptos subyacentes. Esta característica resulta especialmente valiosa para procesos complejos como la fotosíntesis, donde la secuenciación temporal de las reacciones bioquímicas es fundamental para la comprensión.

Superación De Concepciones Alternativas

Vega Páez et al. (2020) identificaron en su estudio con estudiantes rurales que las concepciones erróneas más comunes incluyen la confusión entre fotosíntesis y respiración celular, el desconocimiento de los productos principales del proceso (glucosa y oxígeno), y la falta de comprensión sobre las fases dependiente e independiente de luz. Los autores sugieren que el uso de representaciones visuales y animaciones puede contribuir significativamente a la superación de estas concepciones alternativas.

El análisis de la evidencia empírica sobre animaciones generadas por los propios estudiantes revela cómo estas producciones fomentan habilidades metacognitivas, colaborativas y de pensamiento crítico, al obligar al alumnado a planificar, representar y narrar procesos científicos complejos (Hoban & Nielsen, 2013; Peter, Ausmeier, & Wedekind, 2011). Estas prácticas activas no sólo favorecen la codificación visual y verbal simultánea, sino que también permiten detectar y confrontar las ideas erróneas durante la construcción de las

secuencias animadas, generando andamiajes pedagógicos adecuados para cada fase de la intervención (Kidman & Hoban, 2012). De este modo, las animaciones stop motion se convierten en un recurso multimodal que articula teoría y práctica, promoviendo un aprendizaje activo y significativo en la enseñanza de la fotosíntesis.

La revisión de estos estudios permite dimensionar tanto la magnitud de las dificultades conceptuales como el potencial de los recursos audiovisuales para abordarlas, ofreciendo un contexto empírico sólido para la presente propuesta didáctica. No obstante, cualquier intervención en el aula debe situarse también en el marco curricular y disciplinar que orienta la enseñanza de la fotosíntesis en el sistema educativo chileno.

En tercer lugar, se incorpora el contexto curricular y disciplinar en el que se inserta esta investigación. Se analiza, por un lado, la progresión con que el currículo nacional aborda la fotosíntesis desde tercero básico hasta primero medio, y por otro, los principales aspectos bioquímicos del proceso que sustentan los contenidos escolares y ayudan a explicar por qué ciertos componentes resultan especialmente complejos para el estudiantado.

Marco Curricular Chileno Para El Aprendizaje Progresivo De La Fotosíntesis Y Su Impacto Ambiental

Considerando la magnitud de las dificultades conceptuales y el potencial de las animaciones multimedia para abordarlas, es imprescindible situar cualquier propuesta didáctica en el marco del currículum oficial que regula la enseñanza de las ciencias en Chile. En este apartado se revisa la progresión con que el currículo nacional aborda la fotosíntesis y su impacto ambiental desde tercero básico hasta primero medio, con el fin de alinear la intervención pedagógica con las metas de aprendizaje establecidas y garantizar su pertinencia en el sistema educativo chileno.

El currículum nacional chileno de ciencias naturales está diseñado bajo un enfoque progresivo que busca desarrollar competencias científicas en los estudiantes, integrando conocimientos, habilidades y actitudes a lo largo de su trayectoria educativa. Tal como indican

Zompero Correo et al. (2022), se pretende que los estudiantes “desarrollen competencias científicas que les permitan identificar, comprender y explicar fenómenos naturales, y tomar decisiones fundamentadas que contribuyan al bienestar de la sociedad y del ambiente” (p. 7).

En cuanto al aprendizaje de la fotosíntesis y su impacto ambiental, el Ministerio de Educación de Chile (2018) en sus programas de estudio, establece que, en tercero básico, los estudiantes deben “observar y describir, por medio de la investigación experimental, las necesidades de las plantas y su relación con la raíz, el tallo y la hoja”. Este primer objetivo promueve una base sólida para entender la estructura y función vegetal, conectando con la experiencia directa de los estudiantes.

Posteriormente, en sexto básico, el programa señala que los alumnos deben “explicar, a partir de una investigación experimental, los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar y liberación de oxígeno en la fotosíntesis, comunicando sus resultados y los aportes de los científicos en este campo a través del tiempo” (Ministerio de Educación de Chile, 2018). Paralelamente, en esta misma etapa se pretende que los estudiantes “representen, por medio de modelos, la transferencia de energía y materia desde organismos fotosintéticos a otros seres vivos por cadenas y redes alimentarias en diferentes ecosistemas” y que “analicen los efectos de la actividad humana sobre las redes alimentarias” (Ministerio de Educación de Chile, 2018).

Estas metas de aprendizaje dan paso a una segunda línea de estudio, que se enfoca en el conocimiento de la importancia de las plantas tanto para el medio ambiente como para los seres humanos. Esto ya se inicia en tercero básico, donde se espera que los estudiantes “describan la importancia de las plantas para los seres vivos, el ser humano y el medio ambiente (por ejemplo: alimentación, aire para respirar, productos derivados, ornamentación, uso medicinal), proponiendo y comunicando medidas de cuidado” (Ministerio de Educación de Chile, 2018).

En suma, esta estructura curricular progresiva promueve una creciente complejidad y articulación del conocimiento, integrando desde la comprensión científica de las plantas hasta la valoración crítica de su impacto en el ecosistema y la sociedad.

A continuación, se presenta una tabla resumen que sintetiza estas dos líneas de aprendizaje y sus objetivos específicos en los distintos niveles educativos:

Tabla 1

Las líneas de aprendizaje y sus objetivos curriculares

Línea de aprendizaje	Nivel educativo, código curricular y objetivo de aprendizaje (Ministerio de Educación de Chile, 2018)
Conocimiento de las plantas	Tercero básico CN03 OA1 “Observar y describir, por medio de la investigación experimental, las necesidades de las plantas y su relación con raíz, tallo y hoja.”
	Tercero básico CN03 OA3 “Observar y describir y algunos cambios de las plantas con flor durante su ciclo de vida (germinación, crecimiento, reproducción, formación de la flor y del fruto), reconociendo la importancia de la polinización y de la dispersión de la semilla.”
	Sexto básico CN06 OA 01 “Explicar, a partir de una investigación experimental, los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar y liberación de oxígeno en la fotosíntesis, comunicando sus resultados y los aportes de científicos en este campo a través del tiempo.”
	Primero medio CN1M OA07 “Explicar, por medio de una investigación, el rol de la fotosíntesis y respiración celular en el ecosistema, considerando flujo de energía y ciclo de materia”
Conocimiento de la importancia de las plantas	Tercero básico CN03 OA4 “Describir la importancia de las plantas para los seres vivos, seres humanos y el medio ambiente (alimentación, oxígeno, productos, ornamentación, uso medicinal), proponiendo y comunicando medidas de cuidado”
	Sexto básico CN06 OA2 “Representar, por medio de modelos, la transferencia de energía y materia desde organismos fotosintéticos a otros seres vivos por cadenas y redes alimentarias en diferentes ecosistemas.”
	Sexto básico CN06 OA3 “Analizar los efectos de la actividad humana sobre las redes alimentarias.”

Primero medio
CN1M OA8 “Explicar y evaluar los efectos de acciones humanas y fenómenos naturales en el equilibrio de ecosistemas, disponibilidad de recursos y medidas para un desarrollo sustentable.”

Los programas de estudios nacionales de ciencias naturales establecen una progresión articulada de aprendizajes que va desde la identificación y descripción de órganos vegetales en tercero básico (CN03 OA1) hasta la integración de la fotosíntesis y respiración celular en el ecosistema en primero medio (CN1M OA07) (Ministerio de Educación de Chile, 2018). Esta secuenciación garantiza que los estudiantes construyan gradualmente sus comprensiones, abordando primero la morfología y funciones básicas antes de introducir los reactivos y productos bioquímicos del proceso fotosintético. Comprender esta progresión curricular resulta crucial para situar la intervención educativa en un marco coherente con las metas oficiales y diseñar actividades que respeten la zona de desarrollo próximo del alumnado.

En síntesis, la organización progresiva de los objetivos de aprendizaje en torno a la fotosíntesis y la importancia de las plantas permite comprender en qué momentos y con qué énfasis se introduce este contenido en la trayectoria escolar, ofreciendo un marco de referencia para adaptar las actividades con animación stop motion a las demandas reales del aula. A partir de esta base curricular, se vuelve necesario profundizar en los aspectos bioquímicos del proceso fotosintético, a fin de identificar los componentes conceptuales que deben ser representados y que suelen resultar más desafiantes para el estudiantado.

Aspectos Bioquímicos De La Fotosíntesis

Una vez delimitado el contexto curricular en que se inscribe la enseñanza de la fotosíntesis, resulta fundamental revisar los fundamentos bioquímicos del proceso que subyacen a los contenidos escolares. Este apartado aborda las bases moleculares y energéticas de la fotosíntesis, distinguiendo sus fases luminosa y oscura, con el objetivo de precisar qué elementos deben ser priorizados en las representaciones didácticas y por qué ciertos componentes se convierten en focos habituales de dificultad conceptual para los estudiantes.

Desde un enfoque bioquímico, la fotosíntesis es un proceso mediante el cual los organismos autótrofos, principalmente las plantas, convierten moléculas inorgánicas como el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) en compuestos orgánicos, utilizando la luz como fuente de energía. Este proceso ocurre en los cloroplastos y utiliza específicamente la radiación fotosintéticamente activa (RFA), que corresponde a la luz visible con longitudes de onda entre 400 y 700 nm. La energía de esta luz es captada y conservada en moléculas químicas de alta energía, principalmente adenosín trifosfato (ATP) y nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido (NADPH), que luego se emplean para la síntesis de compuestos orgánicos como las triosas fosfato (González et al., 2020; Taiz, Zeiger, Møller y Murphy, 2015).

La fotosíntesis se divide clásicamente en dos etapas simultáneas pero diferenciadas:

Transporte electrónico fotosintético o fase luminosa: En esta fase, los fotones de luz son absorbidos por complejos antena formados por pigmentos como la clorofila a y b, y carotenoides. La energía luminosa se canaliza hacia los centros de reacción de los fotosistemas I y II, iniciándose una corriente de electrones y protones a través de una cadena de transportadores. Este flujo permite la fotólisis del agua, liberando oxígeno y proporcionando electrones para reponer los fotosistemas. La energía liberada impulsa la síntesis de ATP mediante fotofosforilación y la reducción de NADP^+ a NADPH, biomoléculas estables que acumulan la energía química necesaria para las siguientes reacciones (Taiz et al., 2015; González et al., 2020).

Fotoasimilación de dióxido de carbono o fase oscura (Ciclo de Calvin-Benson): En el estroma de los cloroplastos, el CO_2 se fija para formar moléculas orgánicas en una serie de reacciones químicas. La primera etapa, la carboxilación, es catalizada por la enzima RuBisCO, que fija el CO_2 a la ribulosa 1,5-difosfato, generando compuestos de tres carbonos conocidos como triosas. Posteriormente, durante la fase de reducción, se consumen ATP y NADPH para transformar estos compuestos en triosas fosfato. Algunas de estas moléculas se utilizan para la síntesis interna de almidón o pueden ser exportadas para formar sacarosa, el principal azúcar

transportado en las plantas. Finalmente, en la etapa de regeneración, se restablece la ribulosa 1,5-difosfato, permitiendo la continuidad del ciclo (Taiz et al., 2015; González et al., 2020).

La fotosíntesis comprende dos fases interrelacionadas: la luminosa, donde la fotólisis del agua y el transporte de electrones generan ATP y NADPH, y la oscura (Ciclo de Calvin-Benson), en la que se fija CO_2 para sintetizar azúcares como la glucosa (Taiz et al., 2015). Entender estos mecanismos moleculares es esencial para construir representaciones didácticas precisas que ilustren la conversión de energía lumínica en energía química y el flujo de materia en los ecosistemas. Por lo tanto, la fotosíntesis es un proceso bioquímico sumamente complejo, regulado y esencial para la producción primaria que sustenta la vida en nuestro planeta (González et al., 2020; Taiz et al., 2015).

La caracterización de la fotosíntesis como un proceso bioquímico complejo, regulado y esencial para la producción primaria permite comprender la densidad conceptual que supone para el alumnado articular niveles macroscópicos, celulares y moleculares en una explicación coherente. Esta comprensión sustenta la decisión de utilizar secuencias animadas stop motion en la intervención, al ofrecer una vía para visualizar y narrar estos procesos de manera gradual y significativa, y conecta de forma directa con el capítulo metodológico, donde se detallan el diseño cuasi experimental, los instrumentos y los procedimientos utilizados para evaluar su impacto en los modelos mentales del estudiantado.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

A partir del marco teórico desarrollado en el capítulo anterior, que articula fundamentos cognitivos, didácticos, curriculares y bioquímicos de la enseñanza de la fotosíntesis mediante animaciones stop motion, este capítulo presenta el marco metodológico de la investigación. Se describe el enfoque adoptado, el diseño cuasi experimental con mediciones pre y posttest, las características de los grupos de participantes, los instrumentos de recolección de datos y los procedimientos de análisis, con el propósito de asegurar coherencia entre las preguntas de investigación, los objetivos planteados y las acciones implementadas en el aula.

Enfoque Metodológico

La presente investigación se enmarca en un diseño cuasi-experimental con comparación pre-post entre dos grupos (experimental y control), como parte de un ciclo de investigación-acción. Este enfoque mixto cuantitativo-participativo permite, por un lado, medir objetivamente las variaciones en el aprendizaje de la fotosíntesis tras las respectivas intervenciones didácticas (Johnson-Laird, 1983; Tamayo et al., 2014), y por otro, integrar la reflexión sistemática del docente-investigador para ajustar la práctica en tiempo real (Carr & Kemmis, 1988; Latorre, 2005).

Investigación-Acción

Siguiendo a Elliott (1993), se concibe la investigación-acción como un ciclo de cinco momentos interrelacionados. Primero, la identificación del problema mediante pretest diagnóstico que evidencia las ideas previas del estudiantado sobre órganos vegetales y fotosíntesis. Segundo, la formulación de hipótesis respecto al impacto diferencial de las metodologías. Tercero, la implementación de la acción en seis sesiones didácticas con ambos grupos. Cuarto, la evaluación mediante posttest cuantitativo que mide cambios conceptuales. Finalmente, la reformulación que integra ajustes para futuras iteraciones a partir de la reflexión docente sistematizada.

Diseño Cuasi-Experimental

Se aplicaron instrumentos de evaluación antes y después de la intervención (pruebas escritas y gráficas) para cuantificar cambios en el reconocimiento de órganos, funciones y conceptos bioquímicos de la fotosíntesis. La asignación a los grupos se realizó según cursos existentes, garantizando equivalencia inicial mediante análisis de pretest (Hernández-Sampieri et al., 2014). Este diseño permite comparar el impacto de la metodología expositiva tradicional frente a la activa basada en animaciones stop-motion (Hoban & Nielsen, 2013; Farrokhnia et al., 2020).

Justificación Metodológica

El uso de un enfoque cuantitativo con pre-post garantiza la medición objetiva de los efectos didácticos, mientras que la incorporación de la investigación-acción promueve la mejora continua de la práctica docente. La metodología stop-motion fue seleccionada por su capacidad para involucrar activamente a los estudiantes en la construcción de modelos dinámicos, reduciendo concepciones alternativas en procesos complejos (Mayer, 2005).

Diseño De La Investigación

Tipo De Estudio

Este estudio adopta un diseño cuasi-experimental comparativo con enfoque cuantitativo para evaluar el impacto de dos metodologías de enseñanza en la comprensión de los órganos de las plantas y el proceso de la fotosíntesis en estudiantes de primero medio. Se comparan dos grupos: uno instruido mediante presentaciones expositivas tradicionales y otro mediante la elaboración de animaciones stop-motion, manteniendo constantes los contenidos curriculares, la duración de la intervención, el docente investigador y los instrumentos de evaluación.

Variables

a) Variable independiente

- Método de enseñanza: expositivo tradicional vs. animaciones stop-motion.

b) Variables dependientes

El aprendizaje de la fotosíntesis se operacionaliza mediante tres componentes conceptuales que reflejan la progresión curricular desde tercero básico hasta primero medio:

- Reconocimiento de órganos vegetales: capacidad de identificar y nombrar raíz, tallo, hoja mediante dibujo y nomenclatura (CN03 OA01).
- Comprensión de las funciones de los órganos de las plantas: atribución de funciones específicas de cada órgano de la planta (raíz, tallo, hoja, flor, fruto y semilla) en relación con sus necesidades vitales (CN03 OA1)
- Conocimiento de los elementos del proceso fotosintético: identificación de reactivos (agua, CO₂, luz), productos (glucosa, oxígeno) y estructuras celulares (cloroplastos) involucrados en el proceso fotosintéticos (CN06 OA01)

Esta operacionalización responde a la necesidad de definir el constructo “aprendizaje de la fotosíntesis” en término medibles y coherentes con los Objetivos de Aprendizaje del currículo nacional chileno, facilitando la evaluación del impacto diferencial de ambas metodologías de enseñanza.

c) Variables de control

- Contenidos curriculares: mismos Objetivos de Aprendizaje CN03 OA1, CN06 OA01, CN1M OA07 (Ministerio de Educación de Chile, 2023).
- Tiempo de intervención: seis sesiones de 80 minutos cada una.
- Docente investigador: misma profesora en ambos grupos.
- Instrumentos de evaluación: pruebas escritas y gráficas pre y post intervención idénticas para ambos grupos.

Tabla 2

Síntesis del diseño cuasi-experimental

Grupo	Pretest	Intervención	Postest	N inicial	N final
Control	Instrumentos 1, 2 y 3	Metodología expositiva tradicional (6 sesiones de 80 minutos)	Instrumentos 1, 2 y 3	28	26
Experimental	Instrumentos 1, 2 y 3	Metodología stop motion (6 sesiones de 80 minutos)	Instrumentos 1, 2 y 3	28	22

Contexto y participantes

La investigación se realizó en un Liceo Municipal de la Provincia de Los Andes, Región de Valparaíso, Chile. Participaron estudiantes de primero medio que comenzaron clases en marzo de 2025, provenientes de diversas escuelas básicas de la zona.

Se trabajó con dos cursos: uno como grupo control (metodología tradicional) y otro como grupo experimental (animaciones stop-motion). Al inicio, cada curso tenía 28 estudiantes que realizaron el pretest. Para la comparación final, se analizaron únicamente los casos de estudiantes que completaron tanto pretest como postest: 26 estudiantes (12 hombres y 14 mujeres) en el grupo control y 22 estudiantes (12 hombres y 10 mujeres) en el grupo experimental. Sus edades fluctúan entre los 14 y 16 años.

La conformación de los grupos fue resultado del proceso regular de matrícula, sin intervención externa para formarlos.

Instrumentos

A fin de diagnosticar las ideas previas y medir los cambios conceptuales en torno a la fotosíntesis, se diseñaron tres instrumentos aplicados en pretest y postest a estudiantes de primero medio. Cada instrumento mantuvo una estructura similar —pregunta temática, instrucción sobre formato y objetivo curricular— para facilitar la comparación de resultados.

Tabla 3

Comparación entre instrumentos diagnósticos

Instrumento	Pregunta temática	Instrucción de formato	Objetivo curricular
Instrumento 1	¿Cómo es una planta?	Haz un dibujo y nombra las partes que reconoces.	Identificar reconocimiento de órganos (raíz, tallo, hoja) (CN03 OA1)
Instrumento 2	¿Qué función cumplen los órganos de las plantas?	Completa un cuadro con columnas "órgano" (raíz, tallo, hoja, fruto, flor, semilla) y "función".	Indagar ideas sobre funciones de órganos vegetales (CN03 OA1)
Instrumento	Pregunta temática	Instrucción de formato	Objetivo curricular
Instrumento 3	¿Cómo crees que se alimentan las plantas?	Explica de forma escrita o gráfica.	Explorar concepciones sobre la fotosíntesis (CN06 OA01)

El primer instrumento evaluó el reconocimiento morfológico de órganos básicos según el Objetivo de Aprendizaje CN03 OA1, que establece que en tercero básico los estudiantes deben “observar y describir [...] las necesidades de las plantas y su relación con raíz, tallo y hoja” (Ministerio de Educación de Chile, 2024).

El segundo instrumento profundizó en la atribución de funciones a cada órgano, manteniendo el mismo OA CN03 OA1 para indagar concepciones funcionales (Ministerio de Educación de Chile, 2024).

El tercer instrumento se enfocó en modelar las ideas sobre los reactivos de la fotosíntesis (agua, CO₂, luz) en conformidad con CN06 OA01 de sexto básico, que implica “explicar [...] los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar y liberación de oxígeno” (Ministerio de Educación de Chile, 2024).

Procedimiento De Aplicación

Los instrumentos fueron aplicados durante clases regulares de biología, dependiendo la participación de la asistencia estudiantil. Los resultados del pretest estructuraron y secuenciaron la planificación de ambas metodologías, determinando el punto de partida según el dominio de los objetivos curriculares previos.

Análisis De Datos

A las respuestas del estudiantado (Ver Anexos) se les asignaron etiquetas, que luego fueron codificadas en Excel mediante tablas de códigos binarios, en las cual el valor cero indicaba la ausencia de la etiqueta y el valor 1 su presencia. Luego se realizó una categorización de las etiquetas, con el fin de analizarlas y elaborar las tablas.

En el diagnóstico inicial se aplicó un análisis descriptivo de frecuencias absolutas para los instrumentos de identificación de órganos, funciones vegetales y elementos bioquímicos, con el fin de evaluar la equivalencia experimental. Para el caso de la detección de necesidades pedagógicas y la toma de decisiones se utilizó principalmente la sumatoria entre ambos grupos. Este procedimiento se fundamenta en el criterio de variaciones dentro del error muestral, según el cual “no se puede presumir que los diversos grupos de tratamiento sean inicialmente equivalentes dentro de los límites del error muestral” (Cook & Campbell, 1986, citado en Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista-Lucio, 2014). Los autores recomiendan considerar diferencias menores al 3% como reflejo de variaciones naturales entre grupos (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Para el diagnóstico final (postest) se calculó la variación porcentual ($\Delta \%$) entre pretest y postest para cada indicador, permitiendo cuantificar el cambio intragrupo y evaluar la magnitud del cambio pedagógico. En los casos de elementos emergentes—aquellos con mención cero en el pretest—se adoptó $\Delta \% = \infty$ para reflejar la introducción de nuevos conocimientos. Además, se calcularon los tamaños del efecto (d de Cohen) con sus intervalos de confianza al 95% (Lakens, 2013), para medir la relevancia y precisión de dichos cambios.

A continuación, se detallan los parámetros interpretativos empleados para cada uno, junto con sus respectivos criterios de lectura.

Interpretación Del Delta Porcentual ($\Delta\%$)

El delta porcentual ($\Delta\%$) permite cuantificar la variación relativa entre una medición inicial (pretest) y una medición final (posttest). Su uso se fundamenta en proporcionar una visión objetiva del aporte de la intervención, expresando los logros o retrocesos en términos de porcentaje respecto al valor inicial. La siguiente tabla describe cómo se calcula e interpreta el $\Delta\%$ en la presente investigación.

Tabla 4

Parámetros e interpretación de Delta Porcentual ($\Delta\%$)

Parámetro	Descripción	Interpretación en la tesis
$\Delta\%$ (Delta %)	Cambio porcentual entre dos mediciones (pre y post intervención); expresa la variación relativa en porcentaje. Se calcula como: $\Delta\% = [(valor\ final - valor\ inicial) / valor\ inicial] \times 100$	Indica cuánto aumentó o disminuyó una variable respecto a la medición inicial. - Valores positivos: mejora o incremento. - Valores negativos: disminución o empeoramiento. - Un $\Delta\%$ alto señala un cambio relevante.
Uso típico	Evalúa la efectividad de la intervención en el aprendizaje o frecuencia de respuestas correctas.	Permite comparar el impacto relativo de distintas metodologías o grupos.

Esta herramienta resulta especialmente útil para comparar la efectividad relativa de diferentes intervenciones o estrategias didácticas, facilitando una interpretación clara y uniforme de los resultados obtenidos (American Psychological Association, 2020).

Rangos De Interpretación De Delta Porcentual ($\Delta\%$)

Para orientar la interpretación de los resultados expresados en delta porcentual, se establecen rangos de referencia que facilitan la categorización del cambio observado. Estos intervalos ayudan a distinguir la magnitud del efecto de la intervención.

Tabla 5

Rangos de interpretación de Delta Porcentual ($\Delta\%$)

$\Delta\%$ (Delta porcentual)	Interpretación general
0–9%	Cambio pequeño o marginal
10–24%	Cambio moderado
25–49%	Cambio considerable
50% o más	Cambio alto o muy relevante

De acuerdo con estos criterios, un delta porcentual de 50% o superior se considera una mejora alta o muy relevante, mientras que porcentajes menores permiten identificar cambios de menor magnitud. Esta categorización aporta objetividad en la valoración del impacto de la intervención, en línea con los estándares para la interpretación de resultados en investigaciones educativas.

Interpretación Del d de Cohen e IC 95%

Para dotar de mayor claridad la interpretación de los resultados estadísticos en este estudio, a continuación, se presenta una tabla que explica los principales parámetros utilizados: el tamaño de efecto (d de Cohen) y su intervalo de confianza al 95% (IC 95%). Esta tabla sirve como referencia interpretativa para el lector al analizar la magnitud y la significancia de los cambios obtenidos tras las intervenciones educativas.

Tabla 6

Parámetros e interpretación del tamaño del efecto e IC 95%

Parámetro	Descripción	Interpretación en la tesis
d de Cohen	Tamaño del efecto, indica la magnitud de la diferencia entre dos medidas (pre y post intervención). Valores típicos: 0.2 = pequeño, 0.5 = mediano, 0.8 = grande.	Valores mayores indican un mayor efecto/intervención más potente; positivos si la variable mejora tras la intervención.
IC 95%	Intervalo de confianza al 95%. Es el rango dentro del cual se espera que esté el valor real del tamaño de efecto con un 95% de certeza.	Si el intervalo incluye el cero, el efecto podría no ser estadísticamente significativo. Cuando el rango está completamente por sobre cero, la diferencia es significativa.

Plan De Intervención Educativa

Objetivos Asociados Al Curriculum Regular De Estudios

El objetivo principal consistió en que el estudiantado alcance los objetivos establecidos en el marco curricular nacional según la Priorización Curricular 2023-2025:

- CN03 OA1 (tercero básico): "Observar y describir, por medio de la investigación experimental, las necesidades de las plantas y su relación con raíz, tallo y hoja" (MINEDUC, 2023)
- CN06 OA01 (sexto básico): "Explicar, a partir de una investigación experimental, los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar y liberación de oxígeno en la fotosíntesis" (MINEDUC, 2023)

La intervención se proyecta como preparación para el objetivo de primer año medio CN1M OA07 sobre el rol de fotosíntesis y respiración celular en el ecosistema.

Metodologías De Enseñanza

Metodología Tradicional (Grupo Control)

Cada sesión considera 80 minutos efectivos. El estudiantado se sienta individualmente prestando atención al profesor y anotando apuntes. La interacción se da mediante preguntas para reconocer ideas previas y complementarlas teóricamente. El profesor es el centro de la clase guiando la participación estudiantil.

Metodología Stop Motion (Grupo Experimental)

Cada sesión también considera 80 minutos efectivos. El mobiliario se prepara para trabajo en equipos. Cada equipo sigue indicaciones del profesor al inicio de cada sesión. El docente circula evaluando logros y respondiendo consultas. Los estudiantes tienen rol activo en el cumplimiento de objetivos. Al final de cada sesión deben enviar la animación vía WhatsApp.

Materiales Didácticos

Metodología Tradicional

Cuadernos, estuches con materiales básicos de escritura, pizarrón.

Metodología Stop Motion

Dispositivos móviles para captura de imágenes, aplicación Stop Motion Studio, fichas coloreables, recortes impresos, cartulinas verdes, tijeras, pegamento. Esta selección responde a las ventajas de la animación stop-motion por su simplicidad y uso de elementos tecnológicos cotidianos (Hoban & Nielsen, 2013).

Consideraciones Éticas

La investigación se fundamenta en los principios éticos del Informe Belmont: respeto, beneficencia y justicia, establecidos por la Comisión Nacional para la Protección de los Sujetos Humanos de Investigación Biomédica y del Comportamiento (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979). Estos tres principios éticos básicos constituyen el marco referencial para la protección de los participantes en investigaciones que involucran seres humanos.

Principio De Respeto Por Las Personas

El principio de respeto reconoce que los individuos deben ser tratados como agentes autónomos, y que las personas con autonomía disminuida tienen derecho a protección especial (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979). En el contexto de esta investigación educativa, la participación de los estudiantes dependió de la asistencia regular a clases, sin requerir consentimiento informado adicional al estar integrada en la planificación curricular regular del establecimiento. Esta modalidad respeta la autonomía de los estudiantes dentro del marco educativo institucional, donde la participación forma parte del proceso de aprendizaje establecido.

Principio De Beneficencia

El principio de beneficencia requiere maximizar los beneficios potenciales y minimizar los posibles riesgos o daños (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979). En esta investigación, ambos grupos (experimental y control) recibieron enseñanza válida y pedagógicamente fundamentada según el currículo nacional chileno, garantizando que ningún estudiante fuera privado de aprendizajes esenciales. La metodología tradicional aplicada al grupo control constituye una práctica educativa consolidada y efectiva, mientras que la metodología experimental con animaciones stop-motion representa una innovación didáctica basada en evidencia científica sobre aprendizaje multimedia.

Principio De Justicia

El principio de justicia establece que los riesgos y beneficios de la investigación deben distribuirse equitativamente entre los participantes (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979). En esta investigación se garantizó la distribución equitativa de recursos educativos, tiempo de enseñanza y atención docente para ambos grupos. La asignación de estudiantes a los grupos se realizó considerando las características naturales de los cursos existentes, evitando sesgos de selección que pudieran comprometer la equidad en el acceso a oportunidades de aprendizaje.

Protección De Datos y Confidencialidad

Se garantizó el anonimato de los estudiantes y la protección de sus datos conforme a las normativas institucionales vigentes y los estándares éticos internacionales para investigación educativa. Los instrumentos de recolección de datos fueron codificados para preservar la identidad de los participantes mediante asignación de códigos alfanuméricos únicos (Ej: E01, E02, C01, C02). Toda la información obtenida se utilizó exclusivamente para fines de investigación educativa. Los datos fueron almacenados en dispositivos protegidos con contraseña y solo tuvieron acceso la investigadora principal y el equipo de supervisión.

académica. Los resultados se presentan de forma agregada, sin mencionar nombres ni información que permita identificar a los participantes individuales.

Autorización Institucional

La dirección y jefatura técnico-pedagógica del establecimiento educacional autorizaron formalmente la ejecución del estudio como parte de la planificación curricular regular (Ver Anexos), reconociendo su valor pedagógico y su coherencia con los objetivos de aprendizaje establecidos por el Ministerio de Educación de Chile. Esta autorización institucional respalda el cumplimiento de los principios éticos y el compromiso con la mejora de la calidad educativa.

La implementación de estas consideraciones éticas asegura que la investigación se desarrolle bajo estándares apropiados para la protección de los participantes, cumpliendo tanto con los principios del Informe Belmont como con las normativas específicas del contexto educativo chileno.

El conjunto de decisiones metodológicas expuestas en este capítulo configura un diseño sólido y coherente con los propósitos de indagar en la transformación de los modelos mentales sobre la fotosíntesis a partir de una intervención basada en animaciones stop motion. Sobre esta base, el capítulo siguiente presenta los resultados obtenidos, organizados en función de los objetivos específicos del estudio, y analiza las evidencias empíricas que permiten valorar el alcance y las limitaciones de la propuesta didáctica en el contexto escolar considerado.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO

La implementación de la investigación-acción siguió las etapas establecidas por Elliott (1993): diagnóstico, planificación, implementación y evaluación. Este capítulo presenta el desarrollo sistemático de cada fase, desde la identificación de las necesidades educativas hasta la evaluación de los resultados obtenidos tras la aplicación de ambas metodologías didácticas, incluyendo la validación de las hipótesis planteadas. A continuación, presentamos la penúltima sección de este informe: los resultados principales, remarcando aquellos que entregan evidencia del proceso en todas sus partes.

Diagnóstico y Planificación De La Acción

En esta sección se presenta el reconocimiento diagnóstico de la situación problemática según el modelo de investigación-acción de Elliott (1993), constituyendo la base fundamental para la planificación de la intervención educativa. El diagnóstico de concepciones previas permite comprender en profundidad las ideas iniciales del estudiantado sobre la fotosíntesis y los órganos vegetales, lo cual orienta el diseño específico de las estrategias metodológicas a implementar. Para ello se aplicaron tres instrumentos diagnósticos que exploran el reconocimiento morfológico, las funciones atribuidas a los órganos y las ideas sobre el proceso fotosintético (CN03 OA1; CN06 OA01). La aplicación de estos instrumentos en clases regulares, sin presión de evaluación, garantiza la veracidad de las concepciones recogidas y establece la línea base necesaria para evaluar la eficacia de ambas metodologías didácticas.

Validación De La Hipótesis 1: Equivalencia Inicial Entre Grupos

Hipótesis 1 planteó que, antes de la intervención, el grupo experimental (animación stop-motion) y el grupo control (metodología expositiva tradicional) presentarían niveles equivalentes de conocimiento conceptual sobre órganos vegetales, sus funciones y el proceso de fotosíntesis. Para comprobar esta equivalencia se analizaron las respuestas completas de 56 estudiantes (28 por grupo) en los tres instrumentos diagnósticos aplicados el 13 y 14 de mayo de 2025.

El análisis de las tablas que se presentan más adelante abarcó:

- Instrumento 1: Reconocimiento morfológico de órganos vegetales (Tablas 7 y 8).
- Instrumento 2: Funciones atribuidas a raíz, tallo y hoja (Tablas 9, 10 y 11).
- Instrumento 3: Conocimiento de elementos bioquímicos de la fotosíntesis (Tablas 12,13, 14 y 15).

Los resultados muestran diferencias mínimas en frecuencias absolutas y porcentajes de respuesta correcta, confirmando la equivalencia experimental inicial y garantizando que cualquier cambio posterior se deba a las estrategias implementadas (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Instrumento 1. Equivalencia En El Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales

El análisis del reconocimiento morfológico de órganos vegetales en la evaluación diagnóstica evidencia condiciones iniciales equivalentes entre ambos grupos participantes. Los resultados presentados en las Tablas 7 y 8 confirman esta equivalencia fundamental para la validez del diseño cuasi-experimental.

Tabla 7

Reconocimiento de órganos vegetales en las respuestas escritas del diagnóstico inicial

Órgano escrito	Grupo A	Grupo B	Suma total
Raíz	22	24	46
Tallo	24	23	47
Hoja	21	24	45

Tabla 8

Reconocimiento de órganos vegetales en las respuestas gráficas del diagnóstico inicial

Órgano Dibujado	Grupo A	Grupo B	Suma total
Raíz	24	25	49
Tallo	28	27	55
Hoja	26	25	51

En modalidad escrita, los promedios de reconocimiento fueron 22.3 para el Grupo A y 23.7 para el Grupo B, mientras que en modalidad gráfica alcanzaron 26.0 y 25.7 respectivamente. Las diferencias observadas son mínimas (1.4 puntos en modalidad escrita, 0.3 puntos en modalidad gráfica), dentro del rango esperado para variaciones naturales entre grupos (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Esta ausencia de diferencias significativas en las condiciones de partida valida la Hipótesis 1, se sugiere en alto grado que cualquier diferencia observada post-intervención pueda atribuirse al efecto de las estrategias didácticas implementadas y no a diferencias preexistentes entre los grupos.

Instrumento 2. Comprensión Funcional De Órganos Vegetales

Las Tablas 9, 10 y 11 permiten evaluar la equivalencia inicial en comprensión funcional de órganos vegetales. El análisis de las funciones atribuidas a los órganos vegetales revela patrones diferenciados de comprensión que confirman la equivalencia inicial entre grupos, aunque evidencian brechas conceptuales significativas que requieren abordaje específico durante la intervención.

Tabla 9

Funciones atribuidas a la raíz en el diagnóstico inicial

Función de la raíz	Grupo A	Grupo B	Suma total
Solo absorción	17	16	33
Solo soporte	0	4	4
Soporte y absorción	2	3	5
No contesta/error	9	5	18

El análisis de las funciones atribuidas a la raíz revela que sobre la mitad del estudiantado (33 de 56 total, 58.9%) reconoce correctamente su función de absorción, coherente con los objetivos de aprendizaje de tercero básico (CN03 OA1). Sin embargo, solo 5 estudiantes (8.9%) logran identificar la función dual de absorción y soporte, evidenciando una

comprensión limitada de la multifuncionalidad de los órganos vegetales. Este hallazgo es consistente con las concepciones alternativas documentadas por Charrier Melillán et al. (2006), quienes identifican que los estudiantes tienden a atribuir funciones únicas y simplificadas a los órganos vegetales.

La comprensión funcional del tallo que se observa en la Tabla 10, muestra una distribución más equilibrada entre las funciones de soporte (22 estudiantes) y transporte (20 estudiantes), totalizando 42 estudiantes (75%) que reconocen al menos una función correcta.

Tabla 10

Funciones atribuidas al tallo en el diagnóstico inicial

Función del tallo	Grupo A	Grupo B	Suma total
Solo soporte	13	9	22
Solo transporte	8	12	20
Soporte y transporte	4	0	4
No contesta/error	3	7	10

No obstante, solo 4 estudiantes del Grupo A (7.1% del total) identifican ambas funciones simultáneamente, mientras que ningún estudiante del Grupo B logra esta integración conceptual. Esta limitación en el reconocimiento de funciones duales refleja las dificultades documentadas por Driver et al. (1994) sobre el pensamiento categorial que impide la comprensión integrada de estructuras biológicas.

La función fotosintética de la hoja (Tabla 11) presenta la mayor variabilidad entre grupos y constituye la brecha conceptual más crítica identificada en el diagnóstico.

Tabla 11

Funciones atribuidas a la hoja en el diagnóstico inicial

Función de la hoja	Grupo A	Grupo B	Suma total
Función relacionada con la fotosíntesis	16	7	23
No tiene función	0	6	6
No responde/error	12	15	27

Mientras el Grupo A evidencia un reconocimiento relativamente satisfactorio (16 de 28 estudiantes, 57.1%), el Grupo B presenta resultados significativamente más bajos (7 de 28 estudiantes, 25.0%), con 6 estudiantes que explícitamente niegan que la hoja tenga alguna función específica. Esta disparidad sugiere una preocupación pedagógica particular considerando que la hoja es el órgano principal donde ocurre la fotosíntesis (Taiz et al., 2015).

Validación De Equivalencia Funcional. Aunque existe cierta variabilidad entre grupos en funciones específicas (especialmente en la función fotosintética de la hoja), las diferencias no parecen comprometer la equivalencia experimental general. La sumatoria total de estudiantes que reconocen correctamente las funciones principales es similar entre grupos: raíz (19 vs 19), tallo (21 vs 21), evidenciando condiciones iniciales apropiadas para la comparación posterior. Las diferencias observadas en la función de la hoja (16 vs 7) representan variaciones naturales esperadas en grupos cuasi-experimentales (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Identificación De Necesidades Prioritarias. La sumatoria revela que solo 23 de 56 estudiantes (41.1%) reconoce la función fotosintética de la hoja, mientras que 33 estudiantes (58.9%) no la identifica o presenta errores conceptuales. Esta carencia justifica la necesidad de una intervención específica que aborde la desconexión entre estructura y función, prerequisite fundamental para comprender la localización y mecanismos de la fotosíntesis según los objetivos curriculares de sexto básico (CN06 OA01) y primero medio (CN1M OA07) establecidos por el Ministerio de Educación de Chile (2024).

Instrumento 3. Conocimiento Inicial Equivalente En El Reconocimiento De Órganos En Contexto Fotosintético

Las Tablas 12 y 13 evidencian una desconexión significativa entre el reconocimiento morfológico y la comprensión funcional en el contexto fotosintético, confirmando la equivalencia inicial entre grupos, pero revelando brechas conceptuales críticas.

Tabla 12

Mención escrita de órganos en contexto fotosintético (inicial)

Mención escrita en contexto fotosintético	Grupo A	Grupo B	Suma total
Raíz	5	10	15
Tallo	0	2	2
Hoja	1	0	1
Sumatoria	6	12	18

Tabla 13

Mención gráfica de órganos en contexto fotosintético (inicial)

Mención gráfica en contexto fotosintético	Grupo A	Grupo B	Suma total
Raíz	15	20	35
Tallo	19	25	44
Hoja	15	20	35
Sumatoria	49	65	114

Los resultados de las últimas dos tablas evidencian que, mientras los estudiantes pueden representar gráficamente los órganos (49 menciones del Grupo A, 65 del Grupo B, totalizando 114 menciones), su capacidad para mencionar por escrito su relevancia en la fotosíntesis es marcadamente inferior, totalizando 18 menciones (6 menciones del Grupo A, 12 del Grupo B). Esta brecha de 96 menciones entre representación gráfica y comprensión funcional escrita confirma la desconexión estructura-función identificada por Charrier Melillán et al. (2006), constituyendo una necesidad educativa prioritaria para la intervención.

Equivalencia Entre Grupos. Las diferencias entre Grupo A y Grupo B son consistentes con variaciones naturales esperadas. En modalidad escrita, el Grupo B muestra ligeramente más menciones (12 vs 6), mientras que en modalidad gráfica también supera al Grupo A (65 vs 49). Sin embargo, ambos grupos evidencian el mismo patrón de fortalezas y deficiencias, validando la equivalencia experimental inicial (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Identificación De La Brecha Crítica. La hoja, órgano principal de la fotosíntesis, presenta el déficit más severo con solo 1 mención escrita total (1.8% del total de estudiantes), contrastando dramáticamente con sus 35 menciones gráficas (62.5%). Esta desconexión resulta particularmente preocupante considerando que la hoja es el sitio primario donde ocurre la fotosíntesis (Taiz et al., 2015), sugiriendo que los estudiantes pueden reconocerla morfológicamente pero no comprenden su función fotosintética específica.

Patrón De Concepciones Alternativas: El predominio de menciones de la raíz en contexto fotosintético (15 menciones escritas, 83.3% del total) indica concepciones erróneas persistentes donde los estudiantes asocian incorrectamente la "alimentación" de las plantas con la absorción radicular, reflejando modelos mentales alternativos documentados por González et al. (2020) que confunden nutrición heterótrofa con autótrofa fotosintética.

Estos hallazgos proporcionan evidencia sólida de equivalencia inicial entre grupos, mientras identifican brechas conceptuales específicas que justifican la necesidad de intervenciones educativas dirigidas a fortalecer la comprensión del rol de la hoja en la fotosíntesis y clarificar la diferencia entre absorción de nutrientes y síntesis fotosintética.

Instrumento 3. Conocimiento Bioquímico Inicial Equivalente

Las Tablas 14 y 15 confirman equivalencia en conocimientos bioquímicos iniciales sobre fotosíntesis, revelando patrones sistemáticos de fortalezas y deficiencias que validan la comparabilidad experimental entre grupos e identifican brechas conceptuales críticas para la intervención.

Tabla 14*Elementos de fotosíntesis en explicaciones escritas (inicial)*

Mención escrita	Grupo A	Grupo B	Suma total
Agua	23	20	43
Dióxido de carbono	1	0	1
Glucosa o azúcar	0	0	0
Oxígeno	5	3	8
Luz	21	22	43
Cloroplasto o clorofila	0	0	0

Tabla 15*Elementos fotosintéticos en representaciones gráficas (inicial)*

Mención escrita	Grupo A	Grupo B	Suma total
Agua	17	16	33
Dióxido de carbono	1	0	1
Glucosa o azúcar	0	0	0
Oxígeno	3	3	6
Luz	15	22	37
Cloroplasto o clorofila	1	0	1

Validación De Equivalencia Bioquímica. Ambos grupos muestran patrones similares de conocimiento bioquímico con diferencias menores dentro del rango esperado para variaciones naturales. En modalidad escrita, las diferencias promedio por elemento son < 2.5 menciones; en modalidad gráfica, < 3.5 menciones. Las diferencias son mínimas y no sistemáticas (favorecen alternativamente a cada grupo), confirmando la equivalencia inicial requerida para diseños cuasi-experimentales (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Patrón De Conocimiento Elemental Básico. Ambos grupos evidencian alto reconocimiento de agua y luz como elementos fotosintéticos básicos. En modalidad escrita, 43 menciones totales cada uno (76.8% del estudiantado); en modalidad gráfica, 33 y 37 menciones respectivamente (58.9% y 66.1%). Este reconocimiento es coherente con experiencias cotidianas y conocimientos previos de niveles educativos anteriores, donde agua y luz constituyen necesidades obvias para el crecimiento vegetal (Driver et al., 1994; González et al., 2020).

Deficiencias Críticas En Elementos Complejos. Se observan carencias sistemáticas y equivalentes entre grupos en conceptos bioquímicos fundamentales. El dióxido de carbono, reactivo esencial del ciclo de Calvin-Benson, presenta solo 1 mención total escrita (1.8% del estudiantado) y 1 mención gráfica. La glucosa, producto principal de la fotosíntesis, muestra ausencia total en ambas modalidades (0 menciones, 0% del estudiantado). Estos déficits contrastan dramáticamente con los objetivos de sexto básico (CN06 OA01) que establecen que los estudiantes deben "explicar los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar" (Ministerio de Educación de Chile, 2018).

Ausencia De Componentes Moleculares. Los cloroplastos/clorofila presentan reconocimiento prácticamente nulo, con solo 1 mención gráfica del Grupo A (1.8% del estudiantado total) y ausencia completa en explicaciones escritas. Esta carencia resulta especialmente significativa considerando que la comprensión de la función de la clorofila y los cloroplastos es fundamental para entender cómo las plantas captan y transforman la energía lumínica en energía química (Taiz et al., 2015; González et al., 2020).

Patrón De Concepciones Fragmentarias. Los datos evidencian una concepción fragmentaria del proceso fotosintético equivalente en ambos grupos, donde se reconocen elementos cotidianos obvios (agua 77%, luz 77%) pero se desconocen casi completamente los componentes bioquímicos específicos (CO_2 1.8%, glucosa 0%, cloroplastos 0.9%). Esta fragmentación parece reflejar modelos mentales alternativos documentados por González et al. (2020), donde la fotosíntesis se interpreta como simple necesidad de "lo obvio" en lugar de proceso bioquímico de transformación energética.

Implicaciones Para La Planificación Didáctica. La equivalencia confirmada permite atribuir cambios posteriores a las metodologías implementadas, mientras que las brechas identificadas orientan la necesidad de: (a) enfatizar la entrada de CO_2 atmosférico como reactivo crítico, (b) explicitar la producción de glucosa como producto principal, y (c) introducir componentes moleculares básicos (cloroplastos) como sitios de transformación energética. Esta

planificación responde directamente a las expectativas curriculares de primero medio (CN1M OA07) que requieren comprensión del "flujo de energía y ciclo de materia" en ecosistemas (Ministerio de Educación de Chile, 2016).

La equivalencia bioquímica inicial confirma condiciones experimentales apropiadas, mientras que las deficiencias sistemáticas identificadas proporcionan la fundamentación empírica necesaria para diseñar intervenciones específicamente orientadas a superar concepciones alternativas y consolidar aprendizajes científicamente coherentes sobre la fotosíntesis.

Interpretación De Necesidades Educativas Y Planificación Didáctica

El análisis diagnóstico inicial puso de manifiesto un patrón sistemático de concepciones alternativas que condicionan la comprensión de la fotosíntesis y orientan la planificación de la intervención didáctica. Los hallazgos revelan tres brechas conceptuales prioritarias que requieren abordaje específico para garantizar el logro de los objetivos curriculares establecidos. A continuación, se presentan las tres brechas conceptuales identificadas:

Concepción Fragmentaria Del Proceso Fotosintético. Los datos evidencian una comprensión parcial y desintegrada donde se reconocen elementos cotidianos obvios—agua (77% del estudiantado) y luz (77%)—pero se desconocen casi completamente los componentes bioquímicos específicos: CO_2 (1.8%), glucosa (0%) y cloroplastos (0.9%). Esta fragmentación refleja modelos mentales alternativos documentados por González et al. (2020), donde la fotosíntesis se interpreta como simple necesidad de "lo obvio" en lugar de proceso bioquímico de transformación energética. La implicación didáctica es crítica: este pensamiento categorial impide integrar conocimiento de forma coherente (Driver et al., 1994), requiriendo estrategias explícitas de reorganización conceptual.

Desconocimiento De La Función Fotosintética De La Hoja. Solo 23 de 56 estudiantes (41.1%) asociaron la hoja con la fotosíntesis, mientras que 27 no la identificaron o presentaron errores conceptuales. Esta carencia resulta especialmente preocupante considerando que la

hoja es el órgano principal del proceso y su comprensión constituye prerequisite para entender la localización y mecanismos celulares de la síntesis (Charrier Melillán et al., 2006; Taiz et al., 2015). La brecha entre reconocimiento morfológico (82% identifican la hoja gráficamente) y comprensión funcional (41% reconocen su función fotosintética) es indicativo de una desconexión estructura-función que caracteriza las concepciones alternativas en biología.

Asociación Incorrecta Nutrición – Absorción. El predominio de menciones de la raíz en contexto fotosintético (15 de 18 menciones escritas, 83.3%) sugiere la presencia de concepciones erróneas persistentes donde los estudiantes confunden la "alimentación" de las plantas con la absorción radicular de nutrientes. Este patrón refleja modelos mentales que equiparan erróneamente la nutrición autótrofa fotosintética con la nutrición heterótrofa por absorción, limitando la comprensión del rol transformador de la fotosíntesis en los ecosistemas (González et al., 2020).

Implicaciones Curriculares Y Punto De Partida Conceptual

La evaluación diagnóstica revela que el estudiantado no alcanza los estándares esperados para el objetivo de sexto básico (CN06 OA01), que establece que deben "explicar los requerimientos de agua, dióxido de carbono y energía lumínica para la producción de azúcar" (Ministerio de Educación de Chile, 2018). El desconocimiento casi total de CO₂ como reactivo (1.8%) y glucosa como producto (0%) evidencia una brecha crítica que impide la progresión hacia comprensiones más complejas propias de primero medio.

Esta situación determina que la intervención debe partir desde objetivos de tercero básico (CN03 OA1), reforzando primero la relación estructura-función antes de abordar la fotosíntesis completa. Este punto de partida es coherente con principios de aprendizaje significativo que sugieren conectar nuevos contenidos con estructuras cognitivas preexistentes sólidas (Ausubel, 1968; Driver et al., 1994).

Planificación Didáctica Específica

Progresión Curricular Estructurada. La secuenciación didáctica debe seguir una progresión desde tercero básico hasta primero medio, abordando sistemáticamente: (a) reconocimiento y funciones de órganos vegetales (CN03 OA1), (b) localización anatómica y condiciones fotosintéticas (CN06 OA01), y (c) integración ecosistémica del proceso (CN1M OA07). Esta progresión respeta la zona de desarrollo próximo identificada en el diagnóstico y previene la sobrecarga cognitiva documentada por Mayer (2005).

Énfasis Específico En La Función Fotosintética De La Hoja. Considerando que solo 41.1% del estudiantado reconoce esta función fundamental, ambas metodologías deben dedicar sesiones específicas a la anatomía foliar y su rol biosintético. La comprensión del órgano constituye prerequisite indispensable para los procesos bioquímicos posteriores, siguiendo la secuencia lógica estructura→función→proceso documentado por González et al. (2020).

Introducción Gradual De Elementos Bioquímicos Críticos. La ausencia casi total de CO₂ (1.8%) y glucosa (0%) en las concepciones iniciales requiere estrategias didácticas explícitas para introducir estos conceptos fundamentales. Las metodologías deben enfatizar: (a) la entrada de CO₂ atmosférico como reactivo crítico de la fase oscura, (b) la producción de glucosa como producto principal y fuente energética, y (c) la función de los cloroplastos como sitios de transformación energética.

Superación De Concepciones Erróneas Mediante Confrontación Conceptual. La predominancia de asociaciones incorrectas raíz-alimentación requiere estrategias de cambio conceptual que confronten explícitamente estos modelos alternativos. Siguiendo los principios establecidos por Driver et al. (1994), la intervención debe: (a) explicitar las concepciones previas, (b) generar conflictos cognitivos mediante evidencia contradictoria, y (c) proporcionar modelos alternativos científicamente correctos que resulten más explicativos y coherentes.

Diferenciación Metodológica Esperada

La planificación contempla que ambas metodologías—tradicional y stop-motion—aborden los mismos contenidos conceptuales identificados como prioritarios, diferenciándose únicamente en las estrategias de procesamiento y representación. La metodología tradicional se espera que sea efectiva para la transmisión directa y consolidación de conocimientos específicos, mientras que la metodología stop-motion podría facilitar la comprensión de procesos dinámicos y la reorganización de concepciones alternativas mediante la creación activa de representaciones multimedia (Mayer, 2005; Farrokhnia et al., 2020).

Esta diferenciación metodológica, fundamentada en las brechas diagnósticas identificadas, permite evaluar comparativamente la efectividad de ambas estrategias para superar las concepciones alternativas específicas y alcanzar los objetivos curriculares establecidos para primero medio.

Implementación De La Acción

Diseño Metodológico De Las Intervenciones

El diseño de la intervención se basó en los principios de la investigación-acción propuestos por Elliott (1993), que integra un ciclo reflexivo de observación, planificación, implementación, evaluación y reformulación para resolver problemas educativos. En este marco, se comparó la efectividad de dos metodologías diferenciadas en el aprendizaje de la fotosíntesis.

Ambas intervenciones consideran también los fundamentos de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2005): canal dual, capacidad limitada y procesamiento activo. La metodología stop-motion aprovecha la combinación simultánea de palabras e imágenes, permitiendo a los estudiantes generar animaciones que facilitan la codificación y recuperación de información científica compleja. Por su parte, la metodología tradicional expositiva se apoya en su arraigo en el sistema educativo chileno y en su eficacia para

transmitir conocimientos específicos a través de explicaciones estructuradas y materiales estáticos.

La secuenciación siguió la progresión curricular establecida por el Ministerio de Educación de Chile (2024), partiendo de los objetivos de tercero básico (CN03 OA1) sobre reconocimiento morfológico y funcional de órganos, avanzando hacia sexto básico (CN06 OA01) en la localización y condiciones de la fotosíntesis, y culminando con la integración completa del proceso (CN1M OA07) en primero medio. La intervención se implementó en seis sesiones de 1 h 20 min cada una, entre el 15 de mayo y el 4 de junio de 2025, de manera simultánea en dos cursos de primero medio para garantizar consistencia temporal y curricular.

La distribución de contenidos en las sesiones fue:

- Sesiones 1–2: Reconocimiento y función de órganos vegetales, abordando las brechas diagnósticas de tercero básico.
- Sesiones 3–4: Anatomía foliar y condiciones de la fotosíntesis, enfatizando la función de la hoja y los reactivos básicos (agua, CO₂, luz).
- Sesiones 5–6: Construcción progresiva del proceso completo de la fotosíntesis, desde elementos conocidos hacia la comprensión integral de reactivos y productos, según el nivel de sexto básico.

Esta planificación didáctica responde directamente a las necesidades detectadas en el diagnóstico inicial, asegurando un abordaje sistemático de las concepciones alternativas y brechas de conocimiento, y sentando una base sólida para la evaluación comparativa de la efectividad de ambas metodologías (Elliott, 1993; Mayer, 2005; Ministerio de Educación de Chile, 2018).

Síntesis De Actividades Por Sesión

A continuación, se presenta la Tabla 16 con las seis sesiones, evidenciando cómo ambas metodologías abordaron de forma progresiva los objetivos curriculares y respondieron a las brechas detectadas en el diagnóstico.

Tabla 16

Resumen de actividades implementadas por sesión en ambas metodologías

Sesión	Objetivo específico	Grupo Control (Metodología Tradicional)	Grupo Experimental (Stop-Motion)	OA Curricular
1	Reconocer los principales órganos de las plantas	Presentación expositiva sobre morfología vegetal con apoyo visual estático	Creación de modelos físicos de plantas y toma de fotografías para animación básica	CN03 OA1
2	Identificar las funciones de raíz, tallo y hoja	Explicación magistral de funciones con ejemplos y ejercicios escritos	Desarrollo de animación mostrando funciones de cada órgano con movimiento	CN03 O
3	Localizar donde ocurre la fotosíntesis	Clase expositiva sobre anatomía foliar con esquemas en pizarra	Creación de animación sobre estructura interna de la hoja y localización celular	CN03 OA1, CN06 OA01
4	Conocer las condiciones necesarias para la fotosíntesis	Presentación de reactivos y condiciones con demostraciones estáticas	Animación stop-motion representando entrada de agua, CO ₂ y luz a la planta	CN06 OA01
5	Comprender los productos de la fotosíntesis	Explicación magistral de productos (glucosa, oxígeno) con esquemas	Desarrollo de secuencia animada mostrando producción y liberación de productos	CN06 OA01
6	Integrar el proceso fotosintético completo	Síntesis expositiva del proceso completo con repaso y consolidación	Creación de animación integradora del proceso completo de fotosíntesis	CN1M OA07

Esta estructuración permitió que ambos grupos abordaran los mismos contenidos conceptuales, diferenciándose únicamente en la estrategia metodológica empleada, lo cual aseguró la validez experimental del estudio y la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Observación Sistemática Del Proceso

Instrumentos Y Procedimientos De La Observación

Se empleó un cuaderno de campo con lista de asistencia y registros de participación. En el grupo control solo se registró asistencia; en el grupo experimental, además, se anotó nombre de integrantes por equipo, responsable de la toma de fotografías y envío de animaciones (via WhatsApp).

Algunos Resultados De La Observación

Los datos a continuación indican mayor compromiso grupal y motivación en la metodología stop-motion, coincidiendo con estudios sobre colaboración en proyectos multimedia (Brown et al., 2013; Wishart, 2017).

- El Grupo control denotó un ausentismo promedio de 12-14 estudiantes por sesión, dificultando la continuidad del aprendizaje.
- Grupo experimental: Todos los equipos asistieron completos, aunque faltó en promedio un integrante por equipo. Cada equipo (2-4 alumnos) envió las animaciones en los plazos establecidos.

Registro De Incidencias Y Adaptaciones

Identificación De Incidencias: La principal incidencia fue el ausentismo estudiantil, que interrumpía la secuencia de sesiones y podía afectar la construcción progresiva de conocimientos.

Estrategias De Adaptación: Se realizaron conversatorios con estudiantes sobre la importancia de la asistencia y la autorregulación en su proceso formativo, alineados con principios de investigación-acción de adaptación continua (Elliott, 1993).

Mantenimiento De La Fidelidad Curricular

Al hablar de “fidelidad curricular”, nos referimos al hecho de que las adaptaciones buscaran asegurar la secuenciación planificada, sin omitir conceptos clave, preservando la validez experimental y abordando emergencias del contexto.

Aplicación Del Postest

La evaluación postest se implementó de inmediato tras la sexta sesión de intervención, evitando el sesgo de olvido que podría presentarse con retrasos en la aplicación (Warner, 2010). Esta decisión metodológica se fundamenta en los principios de la investigación-acción, que recomiendan realizar la evaluación en proximidad temporal con la intervención para medir con mayor fidelidad los efectos producidos (Elliott, 1993).

Cabe destacar que las características, procedimientos y criterios éticos empleados en la administración del postest son idénticos a los descritos en el Capítulo 3, lo cual garantiza coherencia metodológica y comparabilidad de resultados. En ambos instrumentos —pretest y postest— se mantuvo la misma estructura de tres componentes (identificación de órganos, funciones vegetales y elementos fotosintéticos) y se aplicaron protocolos de supervisión, anonimato y codificación de datos homologados, asegurando la validez interna y la fidelidad ecológica del estudio.

Resultados De La Implementación

Los resultados de esta implementación se analizan siguiendo los principios de la investigación-acción de Elliott (1993) y la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2005), organizados en análisis intragrupo para evaluar cambios pretest-postest dentro de cada metodología, e intergrupo para validar la hipótesis de superioridad metodológica. Esta estructura permite evaluar la eficacia diferencial de ambas estrategias en función de las brechas conceptuales identificadas en el diagnóstico inicial.

Resultados Intragrupo: Metodología Tradicional Expositiva (Grupo Control)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el grupo control tras la aplicación de la metodología expositiva tradicional, organizados en cinco secciones. Para cada indicador se calculó el cambio porcentual (Δ %) entre pretest y posttest, siguiendo los rangos de interpretación establecidos (0–9% marginal; 10–24% moderado; 25–49% considerable; $\geq 50\%$ alto) (American Psychological Association, 2020).

Instrumento 1. Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales

El reconocimiento de la morfología de los órganos vegetales constituye un primer indicador de comprensión biológica en la enseñanza de la fotosíntesis. El Instrumento 1 evaluó este reconocimiento mediante menciones escritas y gráficas de raíz, tallo y hoja en pretest y posttest.

A continuación, en la Tabla 17 se analizan los cambios observados dentro del grupo control que recibió metodología expositiva tradicional.

Tabla 17

Comparación de la frecuencia de reconocimiento de órganos vegetales

Órgano	Mención escrita Pre $\rightarrow$ Post (%)	$\Delta\%$	Mención gráfica Pre $\rightarrow$ Post (%)	$\Delta\%$
Raíz	23 $\rightarrow$ 24	4,4	23 $\rightarrow$ 25	8,7
Tallo	21 $\rightarrow$ 24	14,3	25 $\rightarrow$ 25	0,0
Hoja	23 $\rightarrow$ 24	4,4	23 $\rightarrow$ 25	8,7

En la modalidad escrita, 23 de 26 estudiantes reconocieron la raíz en el pretest, cifra que ascendió a 24 en el posttest ($\Delta = +4,4\%$). Aunque el cambio porcentual es pequeño, alcanza la categoría de “marginal” (0–9%) y refleja la consolidación de un conocimiento ya presente en la mayoría de los participantes. En la modalidad gráfica, las menciones de la raíz pasaron de 23 a 25 ($\Delta = +8,7\%$), también un cambio pequeño, pero significativo para alcanzar el reconocimiento casi unánime de este órgano.

El tallo mostró un mayor incremento en modalidad escrita: de 21 a 24 menciones ($\Delta = +14,3\%$), valor situado en el rango de “moderado” (10–24%). Este cambio indica que la explicación expositiva fortaleció más la identificación textual del tallo que la raíz, posiblemente debido a la presentación de funciones dinámicas (transporte de agua) asociadas al tallo durante las sesiones. En la modalidad gráfica, el tallo ya aparecía en 25 alumnos en el pretest y se mantuvo en 25 en el posttest ($\Delta = 0,0\%$), evidenciando que la representación visual de este órgano había alcanzado su techo conceptual antes de la intervención.

Para la hoja, las menciones escritas aumentaron de 23 a 24 ($\Delta = +4,4\%$), un cambio marginal que refleja una mejora mínima en la verbalización de este órgano. En las representaciones gráficas, las menciones pasaron de 23 a 25 ($\Delta = +8,7\%$), igual que para la raíz. El incremento marginal en ambas modalidades evidencia que la hoja ya era reconocida ampliamente al inicio, y la metodología expositiva contribuyó de manera estable a su consolidación, alineándose con el objetivo CN03 OA1 de “observar y describir” (MINEDUC, 2023).

El análisis intragrupo del Instrumento 1 confirma que la metodología expositiva tradicional reforzó el reconocimiento morfológico de raíz, tallo y hoja, con mejoras marginales en la mayoría de los indicadores y un incremento moderado solo en la identificación escrita del tallo. Estos resultados sugieren que esta metodología es eficaz para consolidar conocimientos morfológicos ya establecidos, alcanzando niveles de reconocimiento cercanos al 100% en representaciones gráficas y por encima del 90% en menciones escritas.

Instrumento 2. Comprensión Funcional De Órganos Vegetales

La atribución de funciones a los órganos vegetales es un indicador clave de la comprensión biológica en el estudio de la fotosíntesis. El Instrumento 2 registró, en pretest y posttest, las frecuencias de respuestas escritas que asignan funciones de absorción, soporte y transporte a la raíz, el tallo y la hoja. A continuación, la Tabla 18 presenta un análisis

intragrupo del grupo control —metodología expositiva tradicional— estructurado según cada órgano.

Tabla 18

Funciones atribuidas a órganos vegetales (control)

Órgano	Categoría	Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]
Raíz	Solo absorción	15 → 21	40,0	—
	Solo soporte	4 → 1	-75,0	—
	Soporte y absorción	3 → 1	-66,7	—
Hoja	Función fotosintética	9 → 20	122,2	—
	No tiene función	6 → 0	-100,0	—
	No responde/error	11 → 6	-45,5	—
Tallo	Solo transporte	11 → 13	15,4	—
	Solo soporte	9 → 6	-33,3	—
	Soporte y transporte	0 → 5	$+\infty$	[0.69 (0.13, 1.25)]
	No contesta/error	6 → 2	-66,7	—

Antes de la intervención, 15 de los 26 estudiantes (57,7%) identificaron correctamente la función de absorción de la raíz; tras la exposición magistral, esta cifra subió a 21 (80,8%), lo que equivale a un incremento del 40,0% ($\Delta = +40,0\%$), situado en el rango de “cambio considerable” (25–49%). Esta mejora sugiere que la presentación sistemática de contenidos reforzó la asociación entre la raíz y su papel de captación de agua y nutrientes. Paralelamente, las respuestas que atribuían “solo soporte” disminuyeron de 4 a 1 (-75,0%), y las que combinaban “soporte y absorción” se redujeron de 3 a 1 (-66,7%), reflejando un proceso de depuración conceptual hacia la función principal de absorción. El porcentaje de respuestas erróneas (“no contesta/error”) también se redujo de 6 a 2 (-66,7%), lo cual indica un aumento de la certeza conceptual.

En el pretest, 11 estudiantes (42,3%) reconocieron únicamente la función de transporte del tallo; este valor aumentó a 13 (50,0%) en el posttest, con un Δ de +15,4%, interpretado como “cambio moderado” (10–24%). Asimismo, emergieron cinco menciones de “soporte y transporte” que no estaban presentes inicialmente (0 → 5; $\Delta = \infty$), evidenciando la integración progresiva de ambas funciones. Las atribuciones de “solo soporte” disminuyeron de 9 a 6 (-

33,3%), y las respuestas erróneas se redujeron de 6 a 2 (-66,7%), lo que refleja una clarificación de las funciones dinámicas del tallo a través de la instrucción expositiva.

Respecto a la función fotosintética de la hoja, 9 estudiantes (34,6%) la mencionaron en el pretest; este número aumentó considerablemente, pasando a 20 (76,9%) en el postest, con un incremento de $\Delta = +122,2\%$, clasificado como “cambio alto” ($\geq 50\%$). Al mismo tiempo, las respuestas que negaban cualquier función de la hoja (“no tiene función”) cayeron de 6 a 0 (-100,0%), y las omisiones o errores (“no responde/error”) se redujeron de 11 a 6 (-45,5%). Estos datos señalan que la metodología tradicional fue especialmente efectiva para superar la concepción errónea de la hoja como órgano inactivo y consolidar su rol central en la fotosíntesis.

El análisis intragrupo del grupo control revela que la exposición magistral promovió mejoras notables en la comprensión funcional de los órganos vegetales. La raíz y el tallo experimentaron incrementos considerables y moderados, respectivamente, en el reconocimiento de sus funciones principales, mientras que la función fotosintética de la hoja registró el mayor avance porcentual. Con reducciones significativas de atribuciones erróneas y de funciones secundarias inapropiadas, estos resultados confirman la eficacia de la metodología tradicional para consolidar y depurar concepciones funcionales básicas, alineadas con los objetivos del currículo de ciencias naturales.

Instrumento 3. Reconocimiento De Las Nociones De Órganos En Contexto Fotosintético

El análisis de la Tabla 19 examina la capacidad de los estudiantes para relacionar los órganos vegetales con el proceso fotosintético, comparando el desempeño en modalidades escrita y gráfica. Se describen a continuación los hallazgos detallados para cada órgano—raíz, tallo y hoja—y se sintetiza el patrón global de transformación conceptual.

Tabla 19

Mención de órganos en contexto fotosintético (control)

Órgano	Mención escrita Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]	Mención gráfica Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]
Raíz	9 → 8	-11,1	—	19 → 17	-10,5	—
Tallo	1 → 6	500	—	23 → 18	-21,7	—
Hoja	0 → 7	+∞	0.86 [0.29, 1.43]	19 → 16	-15,8	—

En la modalidad escrita, las menciones de la raíz en el contexto fotosintético disminuyeron de nueve a ocho, lo que representa un descenso del 11,1%. Esta ligera reducción indica un proceso de discriminación conceptual, pues los estudiantes empiezan a reconocer que la raíz participa de manera limitada en la fotosíntesis. En la modalidad gráfica, las referencias a la raíz pasaron de 19 a 17, un decremento del 10,5%, lo que refuerza la idea de un ajuste en la representación visual hacia los órganos más directamente involucrados en la fotosíntesis.

En el formato escrito, la noción de tallo mostró un notable aumento de una a seis menciones, equivalentes a un 500% de mejora. Este crecimiento sugiere que los estudiantes consolidaron la comprensión del tallo como vía de transporte de agua, nutrientes y productos de la fotosíntesis, en línea con los objetivos del currículo de primero medio que destacan la integración de procesos dinámicos (Ministerio de Educación de Chile, 2024). Contrariamente, en las representaciones gráficas las menciones disminuyeron de 23 a 18 (-21,7%), lo que podría reflejar un desplazamiento de énfasis hacia la hoja y otros componentes clave, priorizados en la consolidación conceptual.

La transformación más significativa se observó en el caso de la hoja. En la modalidad escrita emergieron siete nuevas menciones (0 → 7, aumento ∞ %), evidenciando que el 27% de los estudiantes logró articular explícitamente el rol fotosintético de la hoja, órgano principal del proceso (Taiz et al., 2015). En la modalidad gráfica, las referencias disminuyeron de 19 a

16 (-15,8%), un indicio de que los alumnos refinaron sus esquemas visuales para centrarse en las estructuras y funciones más relevantes, relegando representaciones superficiales o redundantes.

En conjunto, la modalidad escrita mostró un incremento total de menciones de 10 a 21, lo que equivale a un 110% de mejora, demostrando que la metodología tradicional promovió una expresión verbal más precisa de conceptos fotosintéticos. Sin embargo, las representaciones gráficas evidenciaron una reducción global de 61 a 51 menciones (-16,4%), lo que sugiere un proceso de refinamiento conceptual. Si bien disminuyó la frecuencia de alusiones visuales, las representaciones resultantes son presumiblemente más específicas y ajustadas a los mecanismos reales de la fotosíntesis. En síntesis, la instrucción expositiva tradicional favoreció la articulación escrita de nociones científicas clave—especialmente “tallo” y “hoja”—y propició una reelaboración de las representaciones gráficas hacia modelos mentales más precisos y funcionales.

Instrumento 3. Conocimientos Bioquímicos De La Fotosíntesis

El análisis de la Tabla 20 examina los cambios intragrupo en el reconocimiento de elementos bioquímicos de la fotosíntesis tras la intervención con metodología expositiva tradicional. Se describen a continuación los resultados para cada elemento—agua, dióxido de carbono, glucosa, oxígeno, luz y clorofila—y se sintetizan las tendencias generales observadas.

Tabla 20

Comparación intragrupo de elementos de fotosíntesis en explicaciones escritas (control)

Elemento	Escrit. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]	Gráf. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]
Agua	19 → 13	-31,6	-	14 → 17	21,4	-
Dióxido de carbono	0 → 2	+∞	0.41 [-0.14, 0.96]	0 → 4	+∞	0.60 [0.05, 1.16]
Glucosa o azúcar	0 → 2	+∞	0.41 [-0.14, 0.96]	0 → 1	+∞	0.28 [-0.26, 0.83]
Oxígeno	3 → 4	33,3	-	3 → 4	33,3	-
Elemento	Escrit. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]	Gráf. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]
Luz	20 → 12	-40	-	20 → 17	-15	-
Clorofila	0 → 0	0	-	0 → 0	0	-

En las explicaciones escritas, las menciones de agua disminuyeron de 19 a 13, lo que equivale a una reducción de 31,6%. Este descenso sugiere que, tras consolidar conceptos más específicos, los estudiantes hicieron menos énfasis en el elemento más obvio del proceso, posiblemente porque centraron su atención en reactivos y productos menos evidentes. En las representaciones gráficas, las menciones de agua aumentaron de 14 a 17 (+21,4%), lo que indica que, aunque verbalmente los alumnos reorganizaron su discurso, continuaron reconociendo la función del agua de forma visual.

Inicialmente ausente en las explicaciones escritas, el dióxido de carbono (CO₂) emergió con dos menciones tras la intervención (∞ % de incremento) y pasó de cero a cuatro menciones en las representaciones gráficas (∞ %, d = 0,60 [95% CI 0,05-1,16]), lo que demuestra la incorporación de un reactivo esencial que no se identificaba antes de la intervención y responde directamente a una de las brechas conceptuales críticas señaladas en el diagnóstico inicial.

Al igual que CO₂, la glucosa no fue mencionada en el pretest escrito y emergió con dos menciones en el posttest, lo que técnicamente corresponde a un incremento “∞%”. Sin embargo, el tamaño del efecto calculado (d = 0,41; IC 95% [-0,14, 0,96]) indica que este cambio no

alcanza significación estadística. En las representaciones gráficas se registró un aumento de 0 a 1 mención ($\infty\%$), pero con un tamaño del efecto igualmente no significativo ($d = 0,28$; IC 95% $[-0,26, 0,83]$). Por tanto, aunque la aparición de la glucosa como producto sugiere el inicio de su internalización conceptual, la baja frecuencia de menciones y la amplitud de los intervalos de confianza señalan que este cambio debe considerarse preliminar y no concluyente.

Las menciones de oxígeno en texto aumentaron de 3 a 4 (+33,3%), y en gráficos de 3 a 4 (+33,3%). Aunque el incremento es modesto, confirma que la metodología expositiva fortaleció la identificación de uno de los productos más visibles de la fotosíntesis, consolidando un conocimiento que ya existía de forma parcial en los estudiantes.

En las explicaciones escritas, la luz pasó de 20 a 12 menciones (-40,0%), y en las representaciones gráficas de 20 a 17 (-15,0%). Estas disminuciones reflejan una reorganización conceptual: al incorporar reactivos y productos más específicos (CO_2 y glucosa), los alumnos redujeron la redundancia al mencionar la luz, aunque mantuvieron su reconocimiento en mayor medida a nivel visual.

La información de la Tabla 20 muestra que en las explicaciones escritas no hubo ninguna mención de clorofila en el pretest ni en el posttest ($0 \rightarrow 0$, $\Delta\% = 0\%$), manteniéndose completamente ausente en la expresión verbal. En las representaciones gráficas tampoco surgió ninguna mención de clorofila ($0 \rightarrow 0$, $\Delta\% = 0\%$). Por lo tanto, no se observa ningún reconocimiento visual ni escrito de la clorofila tras la intervención, evidenciando que este componente molecular fundamental permanece pendiente de ser internalizado por el estudiantado.

El análisis intragrupo del grupo control revela que la metodología expositiva tradicional consolidó parcialmente el conocimiento de los elementos más notorios (agua, luz, oxígeno) y logró incorporar el CO_2 como reactivo esencial. Sin embargo, la internalización de la glucosa y la comprensión de la clorofila permanecieron limitadas. En conjunto, estos hallazgos indican que la instrucción pasiva refuerza conocimientos básicos y concretos, pero presenta

restricciones para promover la adquisición de conceptos bioquímicos más complejos en la fotosíntesis.

Instrumento 3. Procesos Fotosintéticos Complejos Emergentes

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación diagnóstica final, se identificó una serie de respuestas emergentes que reflejan una comprensión más precisa de los mecanismos y productos de la fotosíntesis. Dado que estas respuestas no se observaban previamente en el diagnóstico inicial, se decidió categorizarlas de manera independiente para destacar su relevancia en el contexto de la implementación. La Tabla 21 documenta la aparición de procesos y productos fotosintéticos complejos con sus respectivos tamaños de efecto en el grupo control.

Tabla 21

Procesos y productos complejos emergentes (control)

Proceso/Product	Escrit. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]	Gráf. Pre → Post	Δ%	d [IC 95%]
ATP	0 → 0	0%	-	0 → 0	0%	-
NADPH	0 → 0	0%	-	0 → 0	0%	-
Fase oscura (explicación)	0 → 0	0%	-	0 → 0	0%	-
Fase clara (explicación)	0 → 0	0%	-	0 → 0	0%	-
Fotólisis del agua	0 → 0	0%	-	0 → 0	0%	-
Hoja como sitio de fotosíntesis	0 → 1	+∞	0.28 [-0.26, 0.83]	0 → 1	+∞	0.28 [-0.26, 0.83]
Producción de glucosa	0 → 2	+∞	0.41 [-0.14, 0.96]	0 → 1	+∞	0.28 [-0.26, 0.83]

En la evaluación intragrupo, la mención de ATP permaneció ausente en el pretest y el posttest (0 → 0). Esta continuidad en la carencia sugiere que la exposición magistral tradicional no facilitó la incorporación de la síntesis de adenosín trifosfato como componente de la fase luminosa, limitando la comprensión de los estudiantes sobre el almacenamiento de energía química durante el transporte electrónico fotosintético. La ausencia de ATP indica una laguna

persistente en el aprendizaje de mecanismos moleculares esenciales para la comprensión global del proceso (Taiz et al., 2015).

De manera análoga, NADPH no fue mencionado ni antes ni después de la intervención ($0 \rightarrow 0$). La falta de menciones de NADPH revela que los estudiantes no internalizaron este cofactor reductor de la fase luminosa, lo que impide entender cómo se conecta la síntesis de ATP con las reacciones de fijación de carbono en el ciclo de Calvin-Benson. La carencia de NADPH refleja que la instrucción pasiva no alcanzó a transmitir la interrelación entre fases luminosa y oscura (González et al., 2020).

Las menciones explícitas de la “fase clara” o luminosa se mantuvieron en cero ($0 \rightarrow 0$). Esto evidencia que los alumnos no diferenciaron en su discurso las reacciones dependientes de la luz como etapa autónoma del proceso, a pesar de haber recibido explicaciones sobre los pigmentos y el transporte de electrones. La invisibilidad de esta categoría en sus respuestas sugiere que la fase luminosa sigue siendo conceptualizada de forma global y no segmentada en subprocesos (Taiz et al., 2015).

Asimismo, la “fase oscura” o ciclo de Calvin-Benson permaneció ausente en las descripciones escritas ($0 \rightarrow 0$). La imposibilidad de mencionar la etapa de fijación de CO_2 y regeneración de ribulosa 1,5-difosfato indica que los estudiantes no lograron integrar la secuencia bioquímica del proceso completo. Esta omisión evidencia que la instrucción expositiva no generó un nivel de abstracción suficiente para describir en términos funcionales la fase oscura (González et al., 2020).

La fotólisis del agua no emergió en las respuestas ($0 \rightarrow 0$). A pesar de tratar la liberación de oxígeno, los estudiantes no vinculaban este evento con la ruptura de moléculas de H_2O . La omisión de la fotólisis señala una comprensión fragmentaria de las reacciones luminosas, centrada solo en la producción de O_2 sin reconocer su origen molecular (Taiz et al., 2015).

La producción de glucosa emergió mínimamente en dos respuestas escritas ($0 \rightarrow 2$; $\Delta = \infty \%$), pero permaneció ausente en las gráficas ($0 \rightarrow 0$). Aunque técnicamente corresponde a un incremento infinito, la baja frecuencia y la falta de representaciones visuales indican que sólo un número muy reducido de estudiantes internalizó la síntesis de carbohidratos como producto principal. Este hallazgo subraya la dificultad de articular la conexión entre la fase oscura y la finalidad metabólica de la fotosíntesis (González et al., 2020).

La mención de la hoja como órgano específico donde ocurre la fotosíntesis apareció en una respuesta escrita ($0 \rightarrow 1$; $\Delta = \infty \%$) y en una representación gráfica ($0 \rightarrow 1$; $\Delta = \infty \%$). Aunque marginal, esta emergencia sugiere que al menos un estudiante logró asociar explícitamente la localización anatómica del proceso con la función bioquímica, superando la concepción fragmentaria previa.

El análisis intragrupo control revela que la metodología expositiva tradicional no promovió la incorporación de los procesos moleculares complejos de la fotosíntesis: ATP, NADPH, fases luminosa y oscura, y fotólisis del agua permanecieron ausentes, evidenciando una comprensión centrada en elementos básicos (agua, luz, oxígeno). La producción de glucosa y la mención puntual de la hoja como sitio de fotosíntesis emergieron sólo de forma marginal. Estos resultados indican que la instrucción magistral, sin recursos multimodales o actividades de construcción activa, presenta limitaciones para generar niveles de abstracción suficientes que permitan a los estudiantes integrar los subprocesos bioquímicos fundamentales en un modelo mental coherente de la fotosíntesis. Este patrón es consistente con la Hipótesis 2, que anticipa diferencias en la capacidad de cada metodología para facilitar niveles de comprensión avanzada.

Resultados Intragrupo – Metodología Stop Motion (Grupo Experimental)

En esta sección se presentan los cambios internos observados en el grupo experimental tras la implementación de la metodología stop-motion, organizados en cinco dimensiones. Para

cada indicador se calculó el cambio porcentual (Δ %) pretest-posttest, siguiendo los rangos de interpretación establecidos (American Psychological Association, 2020).

Instrumento 1. Reconocimiento Morfológico De Órganos Vegetales

El grupo experimental evidenció mejoras pronunciadas en el reconocimiento de órganos vegetales. La Tabla 22 presentan el reconocimiento morfológico tras la intervención con animaciones stop-motion.

Tabla 22

Reconocimiento morfológico de órganos vegetales (experimental)

Órgano	Mención escrita Pre → Post (%)	Δ%	Mención gráfica Pre → Post (%)	Δ%
Raíz	17 → 22	29,4	19 → 22	15,8
Tallo	19 → 21	10,5	22 → 22	0
Hoja	17 → 21	23,5	21 → 22	4,8

El reconocimiento morfológico de la raíz experimentó la transformación más significativa en modalidad escrita, incrementándose de 17 a 22 menciones, representando un cambio porcentual de 29,4%. Este incremento, categorizado como considerable según los rangos interpretativos establecidos (25-49%), evidencia que la totalidad del estudiantado (22 de 22 estudiantes) logró verbalizar el reconocimiento de este órgano fundamental tras la intervención. En modalidad gráfica, el incremento fue de 19 a 22 menciones (15,8%), alcanzando igualmente el 100% de reconocimiento visual.

El tallo presentó un incremento moderado en modalidad escrita, pasando de 19 a 21 menciones (10,5% de cambio), mientras que en modalidad gráfica se mantuvo constante en 22 menciones (0% de cambio), alcanzando la totalidad del estudiantado en ambas modalidades. Aunque este incremento es menor comparado con la raíz y la hoja, resulta significativo considerando que el grupo partió de una base más alta (19/22 estudiantes) y logró la universalización del reconocimiento.

La hoja evidenció el segundo incremento más pronunciado en modalidad escrita, aumentando de 17 a 21 menciones (23,5%), clasificado como considerable según los rangos establecidos. En modalidad gráfica, el incremento fue mínimo de 21 a 22 menciones (4,8%), alcanzando la totalidad del estudiantado. Esta diferencia entre modalidades sugiere que los estudiantes ya poseían una representación visual sólida de la hoja, pero la metodología stop-motion fortaleció significativamente su capacidad de verbalización.

Un hallazgo sobresaliente es que la metodología stop-motion facilitó la universalización del reconocimiento morfológico: el 100% del estudiantado (22/22) logró identificar gráficamente los tres órganos vegetales básicos tras la intervención. En modalidad escrita, se alcanzó igualmente el 100% para la raíz (22/22) y la hoja (21/22), y el 95,5% para el tallo (21/22). Esta universalización del reconocimiento morfológico (100% en modalidad gráfica para los tres órganos, 100% para raíz escrita, 95,5% para tallo y hoja escritas) sugiere un logro importante que potencialmente establece las bases sólidas necesarias para avanzar hacia objetivos curriculares más complejos de sexto básico (CN06 OA01) y primero medio (CN1M OA07).

Instrumento 2. Comprensión Funcional de Órganos Vegetales

El análisis intragrupo de las funciones atribuidas a los órganos vegetales tras la intervención mediante animaciones stop-motion permite evaluar hasta qué punto esta metodología promueve la comprensión funcional. A continuación, en la Tabla 23 se describen los cambios observados en los tres órganos estudiados (raíz, tallo y hoja).

Tabla 23

Comparación de las funciones atribuidas a los órganos vegetales (experimental)

Órgano	Categoría	Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]
Raíz	Solo absorción	13 → 18	38,5	0.31 [-0.29, 0.90]
	Solo soporte	0 → 1	$+\infty$	
	Soporte y absorción	2 → 1	-50	
Hoja	Función fotosintética	14 → 20	42,9	—
	No tiene función	0 → 0	0	—
	No responde/error	8 → 2	-75	—
Tallo	Solo transporte	6 → 14	133,3	—
	Solo soporte	10 → 3	-70,0	—
	Soporte y transporte	3 → 5	66,7	—
	No contesta/error	3 → 0	-100	—

En el pretest, 13 de 22 estudiantes (59,1%) identificaron exclusivamente la función de absorción en la raíz; tras la intervención este número ascendió a 18 estudiantes (81,8%), lo que representa un incremento del 38,5% (Tabla 23). Este cambio considerable indica que el proceso de creación de animaciones fortaleció la asociación entre la raíz y su función principal de absorción de agua y nutrientes. Se observa, además, la aparición de una mención aislada de “soporte” (0 → 1 estudiante; $\Delta\% = \infty$) con un tamaño de efecto pequeño ($d = 0,31$), lo que sugiere que al menos un participante amplió su comprensión hacia la multifuncionalidad del órgano. Por su parte, la categoría “soporte y absorción” disminuyó del 9,1% al 4,5% (2 → 1 estudiante; $\Delta\% = -50,0\%$), y las respuestas erróneas pasaron de 8 (36,4%) a 2 (9,1%) ($\Delta\% = -75,0\%$), evidenciando una depuración de concepciones incorrectas en favor de la función absorbente.

El hallazgo más destacado para el tallo fue el aumento de la atribución de la función de transporte: de 6 a 14 menciones ($\Delta\% = 133,3\%$), un cambio muy relevante que refleja la capacidad de la estrategia de stop-motion para facilitar la comprensión de procesos dinámicos (Peter, Ausmeier, & Wedekind, 2011). Asimismo, las menciones exclusivas de “soporte” cayeron de 10 a 3 respuestas (-70,0%), y las atribuciones duales de “soporte y transporte” aumentaron de 3 a 5 ($\Delta\% = 66,7\%$). La eliminación total de respuestas erróneas (“no contesta/error” pasó de

3 a 0; $\Delta \% = -100,0\%$) subraya la eficacia de las animaciones para clarificar la función del tallo como órgano de sostén y conducto interno de fluidos.

En cuanto a la hoja, antes de la intervención 14 estudiantes (63,6%) reconocían su función fotosintética; tras la actividad este número subió a 20 (90,9%), lo que equivale a un incremento del 42,9%. La ausencia de menciones de “no tiene función” se mantuvo en 0, lo que indica que ningún estudiante negó la funcionalidad foliar una vez expuesto al método activo. Las respuestas “no responde/error” se redujeron de 8 a 2 (-75,0%), evidenciando una mejora sustancial en la certeza conceptual.

El análisis intragrupo evidencia que la implementación de animaciones stop-motion produjo mejoras considerables en la comprensión funcional de los principales órganos vegetales. La raíz vio consolidada su función de absorción y depuración de concepciones alternativas, el tallo mostró una notable internalización de su papel de transporte, y la hoja amplió significativamente el reconocimiento de su función fotosintética, al tiempo que disminuyeron los errores. En conjunto, estos resultados sugieren que la metodología de stop motion contribuye a reforzar y profundizar el aprendizaje de funciones biológicas fundamentales en estudiantes de primero medio. Este patrón es coherente con la Hipótesis 2, que predice ventajas del procesamiento activo multimedia.

Instrumento 3. Reconocimiento De Órganos En Contexto Fotosintético

El análisis intragrupo de las menciones de los órganos vegetales en el contexto de la fotosíntesis permite evaluar hasta qué punto la metodología de animación stop-motion favoreció la articulación explícita de la relación estructura-función en los estudiantes (Tabla 24).

Tabla 24

Mención de órganos en contexto fotosintético (experimental)

Órgano	Mención escrita Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]	Mención gráfica Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]
Raíz	5 → 8	60,0		13 → 12	-7,7	—
Tallo	0 → 3	$+\infty$	0.56 [-0.04, 1.16]	14 → 15	7,1	—
Hoja	1 → 9	800,0		12 → 15	25,0	—

En el pretest, 5 de 22 estudiantes (22,7%) mencionaron la raíz como participante en la fotosíntesis. Tras la intervención, esta cifra ascendió a 8 (36,4%), lo que equivale a un incremento del 60,0% (Tabla 24). Aunque la raíz no es el órgano primario del proceso fotosintético, este aumento sugiere que algunos estudiantes comenzaron a matizar su comprensión, reconociendo su papel secundario en la absorción de agua y nutrientes necesarios para el proceso.

Inicialmente, ningún estudiante (0%) identificó al tallo en el contexto fotosintético; en el posttest, 3 estudiantes (13,6%) lo mencionaron, representando un incremento indefinido ($\Delta = \infty$ %), con un tamaño de efecto moderado ($d = 0,56$) (Tabla 24). Este cambio, no significativo estadísticamente, refleja que la animación ayudó a revelar el rol del tallo como conducto de transporte de agua, iones y productos fotosintéticos, integrándolo en el modelo mental del proceso.

La hoja presentó la modificación más pronunciada: pasó de 1 mención (4,5%) en el pretest a 9 (40,9%) en el posttest, lo que equivale a un aumento del 800,0% (Tabla 24). Este salto dramático evidencia que la intervención logró reconectar de manera significativa la concepción de la hoja como órgano central en la fotosíntesis. La construcción de animaciones permitió a gran parte del estudiantado visualizar y verbalizar explícitamente la función de la hoja.

El análisis intragrupo muestra que la estrategia de animación stop-motion promovió un refinamiento conceptual progresivo: la raíz y el tallo emergieron en el modelo fotosintético con menciones moderadas, mientras que la hoja consolidó su reconocimiento como sitio principal de la fotosíntesis con un incremento destacable. Estos cambios indican una reestructuración efectiva de los modelos mentales respecto a la localización de la fotosíntesis en las plantas. Estos cambios sustentan la predicción de la Hipótesis 2 respecto a la superioridad del stop-motion en la reorganización conceptual.

Instrumento 3. Conocimiento Bioquímico De La Fotosíntesis

El análisis intragrupo del conocimiento bioquímico en el grupo experimental examina cómo la creación de animaciones stop-motion influyó en la identificación de los reactivos y productos de la fotosíntesis. La Tabla 25 registra las frecuencias absolutas pre- y postintervención, el cambio porcentual ($\Delta\%$), y los tamaños del efecto (d de Cohen) para cada elemento en modalidades escrita y gráfica.

Tabla 25

Comparación intragrupo de los elementos de la fotosíntesis (experimental)

Elemento	Escrit. Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]	Gráf. Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]
Agua	17 → 11	-35,3		12 → 14	16,7	
Dióxido de carbono	1 → 5	400,0		1 → 4	300,0	
Glucosa o azúcar	0 → 5	$+\infty$	0.77 [0.15, 1.38]	0 → 4	$+\infty$	0.67 [0.06, 1.27]
Oxígeno	4 → 9	125,0		2 → 3	50,0	
Luz	15 → 11	-26,7		12 → 13	8,3	
Clorofila	0 → 1	$+\infty$	0.31 [-0.29, 0.90]	0 → 1	$+\infty$	0.31 [-0.29, 0.90]

En las explicaciones escritas, las menciones de agua disminuyeron de 17 a 11 estudiantes (-35,3%). Este retroceso sugiere que, al centrarse en componentes bioquímicos menos evidentes, los alumnos redujeron la redundancia de citar el elemento más familiar. Sin

embargo, en las representaciones gráficas, las menciones de agua aumentaron de 12 a 14 (+16,7%), lo cual indica que, pese a la priorización conceptual de CO_2 y glucosa, los estudiantes mantuvieron el reconocimiento visual de la importancia del agua como reactivo fotosintético.

Originalmente mencionado por solo 1 estudiante en ambas modalidades, las menciones escritas de CO_2 pasaron a 5 ($\Delta = +400\%$), y las gráficas a 4 ($\Delta = +300\%$). Estos incrementos reflejan la incorporación efectiva de un reactivo esencial que antes permanecía ausente de los modelos mentales de la mayoría de los alumnos. El tamaño del efecto moderado en gráficos ($d = 0,67$) muestra que la animación contribuyó a visualizar la entrada de CO_2 en los cloroplastos.

Las menciones escritas de glucosa emergieron de 0 a 5 ($+\infty\%$; $d = 0,77$), y las gráficas de 0 a 4 ($+\infty\%$; $d = 0,67$). La aparición de glucosa como producto principal de la fotosíntesis indica un avance conceptual significativo: los estudiantes dejaron de concebir la fotosíntesis únicamente como generación de oxígeno y reconocieron su función en la síntesis de azúcares. Los tamaños de efecto sugieren una internalización aún en desarrollo, pero claramente superior a cero.

Las menciones escritas de oxígeno aumentaron de 4 a 9 (+125,0%); en mención gráfica, de 2 a 3 (+50,0%). Aunque el oxígeno ya era conocido antes de la intervención, estos incrementos demuestran que la animación reforzó la comprensión de su liberación como producto. El mayor $\Delta\%$ en la modalidad escrita evidencia un fortalecimiento verbal de este conocimiento.

Las menciones escritas de luz disminuyeron de 15 a 11 (-26,7%), y las gráficas aumentaron levemente de 12 a 13 (+8,3%). La reducción en texto sugiere que, a medida que incorporaron CO_2 y glucosa, los estudiantes evitaron sobrecargar sus explicaciones con elementos redundantes. El reconocimiento gráfico estable confiere que la luz sigue percibiéndose como reactivo imprescindible, pero su prioridad conceptual se ajustó hacia los componentes bioquímicos emergentes.

En ambas modalidades, las menciones de clorofila emergieron de 0 a 1 (+ ∞ %; $d = 0,31$). La primera aparición de este pigmento en los modelos escritos y gráficos, aunque escasa, revela que algunos estudiantes comenzaron a asociar la clorofila con la captación de energía lumínica. Este hallazgo, a pesar de su baja frecuencia, representa un paso inicial hacia la comprensión de los mecanismos moleculares de la fase luminosa.

La metodología stop-motion promovió avances notables en el reconocimiento de los componentes bioquímicos de la fotosíntesis. Los reactivos menos evidentes (CO_2) y el producto principal (glucosa) emergieron con aumentos porcentuales muy elevados y tamaños de efecto moderados a grandes, mientras que el oxígeno fue reforzado y el agua y la luz ajustaron su presencia para dar paso a los conceptos recién incorporados. La aparición de clorofila indica un inicio de interiorización de la fase luminosa. En conjunto, estos cambios configuran una transformación progresiva y sustantiva de los modelos mentales hacia una comprensión más completa y científicamente ajustada del proceso fotosintético.

Instrumento 3. Procesos Fotosintéticos Emergentes

En el grupo experimental, la intervención basada en animaciones stop-motion facilitó la emergencia de conceptos y procesos fotosintéticos avanzados que no aparecían en el diagnóstico inicial. La Tabla 26 registra las frecuencias pre- y post-intervención, los cambios porcentuales (Δ %) y los tamaños del efecto (d de Cohen) con sus intervalos de confianza al 95% para cada proceso o producto emergente.

Tabla 26

Procesos y productos complejos emergentes (experimental)

Proceso/Product	Escrit. Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]	Gráf. Pre → Post	$\Delta\%$	d [IC 95%]
ATP	0 → 6	$+\infty$	0,87 [0,25 - 1,48]	0 → 3	$+\infty$	0,56 [-0,04, 1,16]
NADPH	0 → 5	$+\infty$	0,77 [0,15 - 1,38]	0 → 2	$+\infty$	0,45 [- 0,15 - 1,05]
Fase oscura (explicación)	0 → 2	$+\infty$	0,45 [- 0,15 - 1,05]	0 → 1	$+\infty$	0,31 [-0,29, 0,90]
Fase clara (explicación)	0 → 4	$+\infty$	0,67 [0,06 - 1,27]	0 → 1	$+\infty$	0,31 [-0,29, 0,90]
Fotólisis del agua	0 → 5	$+\infty$	0,77 [0,15 - 1,38]	0 → 0	0%	-
Hoja como sitio de fotosíntesis	0 → 6	$+\infty$	0,87 [0,25 - 1,48]	0 → 5	$+\infty$	0,77 [0,15 - 1,38]
Producción de glucosa	0 → 6	$+\infty$	0,87 [0,25 - 1,48]	0 → 0	0%	-

Inicialmente ausente, ATP fue mencionado por 6 estudiantes en las explicaciones escritas ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,87$, IC 95% [0,25 - 1,48]) y por 3 en las representaciones gráficas ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,56$, IC 95% [-0,04 - 1,16]). Este hallazgo indica que la construcción activa de la animación permitió a los alumnos incorporar la síntesis de ATP como componente central de la fase luminosa, resultado congruente con los principios de Mayer (2005) sobre la importancia de combinar representación visual y verbal para facilitar la comprensión de procesos moleculares complejos.

La mención de NADPH emergió de 0 a 5 respuestas escritas ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,77$, IC 95% [0,15 - 1,38]) y de 0 a 2 gráficas ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,45$, IC 95% [-0,15 - 1,05]). La aparición de NADPH sugiere que los estudiantes comenzaron a reconocer este cofactor como agente reductor esencial en el Ciclo de Calvin-Benson, evidenciando un avance hacia la comprensión de la interconexión molecular en la fase luminosa y oscura.

En las explicaciones escritas, la “fase clara” emergió de 0 a 4 menciones ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,67$, IC 95% [0,06 - 1,27]) y en las gráficas de 0 a 1 ($\Delta = \infty\%$; $d = 0,31$, IC 95% [-0,29 - 0,90]).

Esto revela que varios estudiantes comenzaron a diferenciar explícitamente la fase dependiente de luz como etapa autónoma del proceso, un nivel de abstracción conceptual reforzado por la representación animada de la captura de fotones y la generación de energía química.

La “fase oscura” pasó de 0 a 2 menciones escritas ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,45$, IC 95% [-0,15 - 1,05]) y de 0 a 1 mención gráfica ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,31$, IC 95% [-0,29 - 0,90]). Este resultado, si bien no es significativo, indica que algunos alumnos identificaron esta etapa, demostrando que la animación contribuyó a revelar la secuencia cronológica y funcional de las dos fases principales de la fotosíntesis.

Las menciones de la fotólisis del agua emergieron de 0 a 5 en texto ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,77$, IC 95% [0,15 - 1,38]) y permanecieron ausentes en gráficos. La incorporación verbal de la ruptura del H_2O confirma que los estudiantes comenzaron a comprender y articular la generación de electrones y oxígeno como consecuencia de la fotólisis.

La mención de la hoja como sitio específico emergió de 0 a 6 en texto ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,87$, IC 95% [0,25 - 1,48]) y de 0 a 5 en gráficos ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,77$, IC 95% [0,15 - 1,38]). Este salto conceptual refleja que los estudiantes consolidaron la localización celular de la fotosíntesis en los cloroplastos de la hoja, evidenciando una articulación precisa entre estructura y función favorecida por la representación animada.

La producción de glucosa emergió de 0 a 6 menciones escritas ($\Delta = \infty$ %; $d = 0,87$, IC 95% [0,25 - 1,48]) y permaneció ausente en gráficos. La aparición de glucosa como producto principal demuestra que los estudiantes avanzaron hacia la internalización de la síntesis de carbohidratos como meta final del proceso fotosintético.

El análisis intragrupo del grupo experimental evidencia que la metodología stop-motion facilitó la emergencia de procesos y productos bioquímicos avanzados—ATP, NADPH, fases luminosa y oscura, fotólisis y glucosa—todos ausentes en el diagnóstico inicial. Los tamaños de efecto moderados a grandes y los incrementos porcentuales infinitos resaltan la efectividad de

las animaciones generadas por los estudiantes para promover saltos conceptuales hacia niveles de comprensión más profundos. Todos los datos, a excepción de la fase oscura, presentan intervalos de confianza que no incluyen el cero, por lo cual se consideran estadísticamente significativos.

Resultados Intergrupo: Validación De La Hipótesis 2

La Tabla 27 presenta la comparación de los principales indicadores de conocimiento conceptual entre el grupo experimental (animaciones stop-motion) y el grupo control (metodología expositiva tradicional).

A continuación, se analizan detalladamente cada uno de los procesos y productos evaluados, con el fin de validar la Hipótesis 2—según la cual el grupo experimental alcanzaría niveles superiores de conocimiento conceptual tras la intervención—y concluir con un resumen integrador de los resultados.

Tabla 27

Comparación intergrupo de la efectividad metodológica

Indicador	Grupo Experimental	Grupo Control
Función de Transporte en tallo (pre → post)	6 → 14 (+133.3%)	11 → 13 (+15.4%)
Función fotosintética de hoja (pre → post)	14 → 20 (+42.9%)	9 → 20 (+122.2%)
Menciones de CO₂ (pre → post)	1 → 5 (+400%)	0 → 2 (emergencia marginal)
Menciones de glucosa (pre → post)	0 → 5 (0.77 [0.15, 1.38])	0 → 2 (0.41 [- 0.14, 0.96])
Menciones de cloroplastos/clorofila (gráfica)	0 → 1 (0.31 [-0.29, 0.90])	0 → Ausente
Mención escrita de la hoja en contexto fotosintético (pre → post)	1 → 9 (+ 800,0%)	0 → 7 (0.86 [0.29, 1.43])
ATP (d [IC 95%]) (escrito)	0 → 6 (0.87 [0.25, 1.48])	0 → Ausente
NADPH (d [IC 95%]) (escrito)	0 → 5 (0.77 [0.15, 1.38])	0 → Ausente
Fotólisis del agua (d [IC 95%]) (escrito)	0 → 5 (0.77 [-0.15, 1.38])	0 → Ausente
Hoja como sitio en que ocurre la fotosíntesis	0 → 6 (0.87 [0.25, 1.48])	0 → 1 (0.28 [-0.26, 0.83])
Glucosa como producto de la fotosíntesis	0 → 6 (0.87 [0.25, 1.48])	0 → 2 (0.41 [-0.14, 0.96])

El grupo experimental mostró un incremento de menciones de función de transporte de 6 a 14 estudiantes ($\Delta = +133,3\%$), mientras que el grupo control pasó de 11 a 13 ($\Delta = +15,4\%$). Esta diferencia sustancial sugiere que la creación de animaciones permitió a los estudiantes representar con mayor claridad el papel dinámico del tallo como conducto de agua y nutrientes. Este patrón es coherente con la teoría cognitiva multimedia de Mayer (2005), que predice una ventaja en la representación de procesos dinámicos.

En el reconocimiento de la hoja como órgano fotosintético, el control mejoró de 9 a 20 menciones ($\Delta = +122,2\%$), frente a un aumento de 14 a 20 en el experimental ($\Delta = +42,9\%$). Aunque ambos grupos alcanzaron 20 menciones, la mayor ganancia porcentual del control indica que la instrucción expositiva directa fue más eficiente para consolidar este concepto específico.

El grupo experimental incorporó CO_2 en sus explicaciones de 1 a 5 menciones ($\Delta = +400\%$), mientras que el control sólo pasó de 0 a 2. Este resultado evidencia que el stop-motion favoreció la internalización del reactivo menos evidente, al permitir visualizar su entrada en el cloroplasto. La comparativa confirma la superioridad del grupo experimental en introducir nuevos conceptos bioquímicos (Tabla 27).

La aparición de menciones de glucosa—de 0 a 5 en el experimental ($d = 0.77$) y de 0 a 2 en el control ($d = 0.41$)—muestra que la animación facilitó la integración del producto principal de la fotosíntesis. La diferencia en los tamaños de efecto respalda que el grupo experimental logró un aprendizaje más profundo de la síntesis de azúcares.

Solo el grupo experimental incorporó menciones gráficas de cloroplastos ($0 \rightarrow 1$; $d = 0.31$). La ausencia total en el control destaca la capacidad de las animaciones para revelar estructuras subcelulares que no se perciben en la exposición estática.

La mención escrita de la hoja en fotosíntesis creció de 1 a 9 estudiantes en el experimental ($\Delta = +800\%$), frente a $0 \rightarrow 7$ en el control ($d = 0.86$). Este salto extraordinario evidencia la reestructuración del modelo mental sobre la hoja como sitio del proceso.

El grupo experimental registró por primera vez menciones de ATP ($0 \rightarrow 6$; $d = 0.87$), NADPH ($0 \rightarrow 5$; $d = 0.77$) y fotólisis ($0 \rightarrow 5$; $d = 0.77$), todas ausentes en el control. Estos procesos avanzados mostraron tamaños de efecto grandes, sugiriendo que las animaciones permitieron acceder a niveles de comprensión molecular inaccesibles mediante instrucción expositiva.

La identificación de la hoja como sitio de fotosíntesis emergió con $0 \rightarrow 6$ menciones ($d = 0.87$) en el experimental, frente a $0 \rightarrow 1$ en el control ($d = 0.28$). De igual modo, la producción de glucosa ganó $0 \rightarrow 6$ menciones ($d = 0.87$) sólo en el experimental. Estos saltos conceptuales confirman la capacidad del stop-motion para integrar simultáneamente estructura, función y producto en un modelo mental coherente.

La comparación intergrupo sugiere fuertemente que la metodología basada en animaciones stop-motion promovió saltos conceptuales sustanciales en procesos dinámicos (transporte del tallo), introdujo nuevos elementos bioquímicos (CO_2 , glucosa, cloroplastos) y facilitó la comprensión de mecanismos moleculares complejos (ATP, NADPH, fotólisis). En contraste, la instrucción expositiva tradicional mostró ventajas específicas para consolidar la función fotosintética de la hoja, pero no logró activar los niveles de comprensión avanzada logrados por el grupo experimental. Estos resultados validan la Hipótesis 2, evidenciando que la creación activa de representaciones multimodales genera niveles de conocimiento superiores a los alcanzables mediante metodologías pasivas.

Los resultados presentados en este capítulo proporcionan la base empírica necesaria para la discusión detallada de implicancias, limitaciones y proyecciones que se desarrolla en el capítulo 5.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

En este capítulo, con el que cerramos este informe, presentamos la discusión de los resultados obtenidos tras el análisis, los discutimos a la luz de la teoría de base y, cuando haya evidencia empírica, la presentamos como aporte desde la mirada de esta investigadora. Luego, derivado de la discusión, damos cuenta de nuestras conclusiones y, al cierre, de las proyecciones de la investigación.

Discusión De Resultados

A partir del análisis de los resultados obtenidos durante la implementación de ambas metodologías didácticas, emergen cinco hallazgos fundamentales que sugieren patrones en cómo cada estrategia favoreció diferentes tipos de aprendizaje. Estos hallazgos, discutidos a la luz del marco teórico sustentado y enriquecidos con la experiencia reflexiva de la investigación-acción, proporcionan evidencia sólida sobre los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje de conceptos científicos complejos.

Primero, el diagnóstico inicial reveló la persistencia de concepciones alternativas sobre la fotosíntesis como punto de partida común en ambos grupos. Esta equivalencia inicial de los grupos en reconocimiento morfológico, comprensión funcional y conocimientos bioquímicos es coherente con la validación de la hipótesis 1a al no existir diferencias sistemáticas significativas en el pretest (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista-Lucio, 2014). Los estudiantes evidenciaron concepciones fragmentarias del proceso fotosintético, reconociendo elementos cotidianos obvios como agua (77% del estudiantado) y luz (77%), pero desconociendo casi completamente los componentes bioquímicos específicos: CO_2 (1.8%), glucosa (0%) y cloroplastos (0.9%). Este patrón confirma lo documentado por Charrier Melillán et al. (2006), quienes identifican que los estudiantes tienden a mantener ideas erróneas e incompletas que dificultan una comprensión científica adecuada del proceso, persistiendo incluso después de recibir instrucción formal. Asimismo, estos resultados son coherentes con los planteamientos de González et al. (2020), quienes señalan que la fotosíntesis se interpreta como simple

necesidad de "lo obvio" en lugar de proceso bioquímico de transformación energética. Desde nuestra experiencia como investigadora, este hallazgo confirma la necesidad imperativa de partir desde el diagnóstico sistemático de ideas previas, ya que estas concepciones alternativas constituyen verdaderos obstáculos epistemológicos que condicionan todo el proceso de aprendizaje posterior. Desde una perspectiva educativa, este hallazgo refuerza la importancia de partir del diagnóstico sistemático, reconociendo que estas concepciones constituyen obstáculos epistemológicos que condicionan el aprendizaje posterior, tal como lo documentan Charrier Melillán et al. (2006) en contextos similares.

En segundo lugar, se evidencia una diferenciación metodológica importante según el tipo de conocimiento abordado. La metodología tradicional mostró una eficacia particular para consolidar funciones específicas, evidenciándose especialmente en la función fotosintética de la hoja, que experimentó un incremento de 122.2% en el grupo control. Esto es coherente con lo planteado por Driver et al. (1994), quienes sostienen que la instrucción directa es efectiva para clarificar roles específicos y superar concepciones alternativas mediante confrontación conceptual explícita. Por el contrario, la metodología stop motion mostró particular eficacia para funciones dinámicas, como el transporte en el tallo (+133.3%), validando los postulados de Peter et al. (2011) y Hoban y Nielsen (2013), quienes documentan que las animaciones generadas por estudiantes mejoran especialmente el aprendizaje de contenidos que involucran eventos dinámicos. Los datos sugieren una complementariedad metodológica más que la superioridad absoluta de una estrategia sobre otra, sugiriendo la necesidad de diseñar secuencias didácticas que integren ambos enfoques según los objetivos específicos de aprendizaje.

Tercer hallazgo. Los resultados sugieren una ventaja del stop motion en la facilitación de saltos conceptuales hacia conocimientos moleculares complejos. El grupo experimental logró incorporar significativamente más conceptos bioquímicos avanzados: CO_2 (+400% vs emergencia marginal en control), glucosa (emergencia total vs limitada), y únicamente en este grupo emergieron componentes moleculares como cloroplastos/clorofila y procesos complejos

como ATP, NADPH y fotólisis del agua. Estos resultados son consistentes con los principios de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2005), quien establece que se aprende más profundamente cuando la información se presenta combinando palabras e imágenes. Asimismo, confirma los hallazgos de Farrokhnia et al. (2020), quienes demuestran que las representaciones generadas por los estudiantes facilitan saltos conceptuales difíciles de lograr mediante métodos pasivos. Ahora, desde nuestra perspectiva, este hallazgo resulta especialmente significativo porque demuestra que la construcción activa de representaciones dinámicas permite acceder a niveles de comprensión molecular que tradicionalmente se consideran de alta complejidad para estudiantes de primero medio. Estos cambios son coherentes con los principios de Mayer (2005), aunque es importante notar que se trata de interpretaciones plausibles basadas en datos de desempeño académico, más que de comprobaciones directas de procesos cognitivos.

Un cuarto hallazgo relevante es la transformación en la comprensión del rol de la hoja en la fotosíntesis. Uno de los resultados más impactantes fue el incremento de 800% en la mención escrita de la hoja en contexto fotosintético en el grupo experimental, representando el salto conceptual más crítico: reconocer la hoja como órgano principal de la fotosíntesis. Este hallazgo es coherente con los planteamientos de Tamayo et al. (2014) sobre la transformación de modelos mentales, y con Johnson-Laird (1983), quien establece que estos modelos se caracterizan por su dinamismo y capacidad de transformación producto de la interacción con el contexto. La construcción de animaciones facilitó esta reestructuración conceptual, validando los postulados de Hoban y Nielsen (2013) sobre la capacidad de las animaciones para transformar modelos mentales alternativos. Es posible interpretar este hallazgo como una evidencia de que las metodologías activas no solo transmiten información, sino que efectivamente reestructuran las representaciones internas que los estudiantes construyen sobre los fenómenos científicos.

Finalmente, en quinto lugar, se sugiere una revisión de la priorización curricular basada en progresión de aprendizajes. Aunque este hallazgo trasciende el alcance específico de esta

investigación, los datos permiten plantear que existe una potencial desarticulación, debido a que el diagnóstico reveló que el estudiantado no alcanzaba los estándares esperados para objetivos de sexto básico (CN06 OA01), evidenciando brechas en conocimientos que deberían ser pre-requisitos desde tercero básico (CN03 OA1). Paradójicamente, el OA1 de tercero básico, sobre "conocimiento de las plantas" no está priorizado como basal en los documentos ministeriales, mientras que el OA4, sobre "importancia de las plantas", sí lo está. Esta situación es consistente con lo planteado por Zompero Correo et al. (2022), quienes enfatizan la necesidad de desarrollar competencias científicas de manera progresiva, y con los principios de aprendizaje significativo de Ausubel et al. (1983), que sugieren conectar nuevos contenidos con estructuras cognitivas preexistentes sólidas. Desde nuestra experiencia, este hallazgo representa una alerta crítica sobre la desarticulación entre la priorización curricular ministerial y las necesidades reales de progresión conceptual, evidenciando la urgencia de revisar la secuenciación curricular desde una perspectiva de construcción progresiva de conocimientos.

A partir de la discusión de los principales hallazgos que hemos presentado, derivamos a nuestras conclusiones.

Conclusiones y limitaciones

A partir de la discusión crítica de estos hallazgos presentada anteriormente, es posible establecer tres conclusiones fundamentales sobre la efectividad diferencial de ambas metodologías y sus implicaciones para la enseñanza de conceptos científicos complejos. Estas conclusiones emergen del análisis integrado de los hallazgos discutidos y proporcionan orientaciones claras para la práctica pedagógica.

Primeramente, la investigación evidencia la existencia de una complementariedad metodológica validada empíricamente entre la enseñanza tradicional y las animaciones stop motion. Los resultados sugieren que ambas metodologías presentan fortalezas diferenciadas que responden a diferentes tipos de objetivos de aprendizaje. La metodología tradicional resulta eficaz para consolidar funciones específicas y superar concepciones alternativas

mediante instrucción directa, como se evidenció en el incremento de 122.2% en el reconocimiento de la función fotosintética de la hoja en el grupo control. Por su parte, las animaciones stop motion facilitan la comprensión de procesos dinámicos y la integración conceptual compleja, como se demostró en el incremento de 133.3% en la comprensión del transporte en el tallo y la emergencia de conceptos moleculares avanzados ausentes en el grupo control. Esto confirma los postulados de Elliott (1993) sobre la investigación-acción como proceso reflexivo que permite identificar fortalezas específicas de diferentes estrategias didácticas y sugiere que futuras intervenciones educativas deberían integrar secuencialmente ambos enfoques para maximizar los logros de aprendizaje según los contenidos y objetivos específicos. Esta conclusión valida la Hipótesis 2, que anticipaba una eficacia diferencial según el tipo de contenido y objetivo de aprendizaje.

En segundo lugar, se establece una ventaja diferencial del stop motion para la enseñanza de conceptos complejos y procesos dinámicos. La metodología stop motion demostró una ventaja significativa en la facilitación de saltos conceptuales hacia conocimientos moleculares complejos, evidenciándose en la emergencia de ATP, NADPH, fotólisis del agua y cloroplastos/clorofila, completamente ausentes en el grupo control. Estos resultados validan la hipótesis 2 y confirman los principios del aprendizaje multimedia de Mayer (2005) y los hallazgos de Farrokhnia et al. (2020) sobre la efectividad de las representaciones generadas por estudiantes. La construcción activa de animaciones promovió transformaciones en los modelos mentales de los estudiantes, permitiendo acceder a niveles de comprensión molecular tradicionalmente considerados de alta complejidad cognitiva. Esta superioridad se fundamenta en la capacidad de las animaciones para combinar procesamiento visual y verbal, reducir la carga cognitiva mediante la secuenciación temporal y promover el aprendizaje activo a través de la construcción de representaciones propias.

Finalmente, en tercer término, sin que constituya un objetivo central de esta investigación, los datos permiten plantear que existe una potencial desarticulación entre la priorización curricular ministerial y las necesidades reales de progresión conceptual en el

aprendizaje de la fotosíntesis. Esto confirma la necesidad de revisar integralmente la secuenciación curricular desde una perspectiva de construcción progresiva de conocimientos, coherente con los principios constructivistas de Ausubel et al. (1983) y las recomendaciones de Tamayo et al. (2014) sobre la importancia de identificar y valorar ideas previas en el diseño de secuencias didácticas. La priorización curricular debe fundamentarse en evidencia empírica sobre progresiones de aprendizaje reales, no solo en consideraciones de relevancia temática, garantizando que los objetivos basales realmente sustenten los aprendizajes posteriores.

Ya señaladas las conclusiones, en relación con el objetivo general de esta investigación, que consistió en evaluar la eficacia diferencial de la metodología basada en animaciones stop motion frente a la metodología tradicional expositiva, los resultados evidencian patrones claros de diferenciación metodológica según el tipo de contenido. En particular, el grupo experimental mostró mejoras significativas en la internalización de conceptos bioquímicos complejos y en la comprensión de procesos dinámicos, mientras que el grupo control demostró eficacia sostenida en la consolidación de funciones específicas. Ambos grupos presentaron equivalencia inicial, lo que apoya la atribución de estos patrones de diferencias a las metodologías implementadas.

En respuesta a la pregunta central de investigación sobre si la incorporación de animaciones stop motion mejora el conocimiento conceptual sobre fotosíntesis en comparación con la metodología tradicional resultó eficaz para consolidaciones de conocimiento específico. Estos patrones son interpretables a través de principios del aprendizaje multimedia de Mayer (2005), aunque representan correlaciones observadas más que comprobaciones experimentales de mecanismos cognitivos.

Es importante señalar algunas limitaciones de este estudio que condiciona la generalización de los hallazgos. En primer lugar, el contexto es específico: una única institución educativa en una provincia determinada de Chile, con características socioeconómicas y de acceso de recursos que pueden no ser representativas de todos los

establecimientos educativos del país. En segundo lugar, el tamaño muestral ($n=56$ estudiantes) y la duración limitada de la intervención (6 sesiones de 1 hora 20 minutos) circunscriben el alcance de las conclusiones a poblaciones o tiempos similares. Adicionalmente, los instrumentos de evaluación se centraron específicamente en dimensiones de conocimiento conceptual (reconocimiento morfológico, comprensión funcional, conocimientos bioquímicos), dejando fuera otras dimensiones relevantes como motivación, actitudes hacia las ciencias, o habilidades de pensamiento científico. Finalmente, la metodología stop motion es una estrategia relativamente novedosa para los estudiantes participante, lo que podría haber generado un efecto de novedad o enganche emocional, factor que no fue controlado de forma sistemática. Estas limitaciones sugieren la necesidad de replicación del estudio en contextos diversos y con muestras ampliadas.

Habiendo presentado nuestras conclusiones y limitaciones, de estas mismas podemos proyectar algunas líneas temáticas que, a nuestra consideración, podrían aportar a la mejora de los procesos del aula que hemos investigado.

Proyecciones

Las conclusiones alcanzadas en esta investigación abren múltiples líneas de acción y desarrollo que trascienden el ámbito específico de la enseñanza de la fotosíntesis, proyectándose hacia transformaciones más amplias en la práctica pedagógica, el diseño curricular y la investigación educativa. Estas proyecciones emergen tanto de la experiencia reflexiva del proceso investigativo como de las necesidades identificadas para la mejora continua del sistema educativo.

En primer lugar, a partir de los resultados obtenidos, se proyecta la implementación ampliada de la metodología stop motion en otros objetivos curriculares que contengan temas dinámicos o procesos biológicos no perceptibles directamente por el estudiantado, donde la carga cognitiva es elevada debido a su naturaleza abstracta y microscópica. Los resultados sugieren que este enfoque podría ser particularmente pertinente en la enseñanza de procesos

como la respiración celular, la división celular, la circulación sanguínea, el funcionamiento del sistema nervioso, la síntesis de proteínas y los ciclos biogeoquímicos. Esta proyección se fundamenta en los hallazgos de Peter et al. (2011) y las recomendaciones de Hoban y Nielsen (2013) sobre la efectividad de las animaciones para contenidos que involucran eventos dinámicos. La implementación seguirá el modelo espiral de Elliott (1993), permitiendo ajustes reflexivos basados en la evaluación continua de resultados y la adaptación a los contextos específicos de cada establecimiento educacional. Sin embargo, es importante reconocer que cada contexto requerirá adaptaciones específicas en función del nivel educativo, recursos tecnológicos disponibles y capacitación docente previa. Esta expansión metodológica contribuiría a la construcción gradual de un repertorio didáctico diversificado que responda más efectivamente a la variedad de contenido y objetivos presentes en el currículo de ciencias naturales, particularmente en aquellos que demandan la comprensión de procesos no observables directamente.

Los hallazgos sobre la desarticulación entre priorización curricular ministerial y necesidades reales de progresión conceptual sugieren la conveniencia de revisar el currículo de ciencias en dos niveles complementarios. A nivel de establecimientos educacionales, resulta viable desarrollar una reestructuración curricular que incorpore explícitamente un periodo específico destinado al diagnóstico sistemático de ideas previas y a la nivelación conceptual en cada unidad de enseñanza – aprendizaje. Esta propuesta responde a la evidencia derivada de este estudio de que objetivos basales como CN03 OA1 sobre “conocimiento de las plantas” constituyen pre-requisitos fundamentales para el logro de aprendizajes posteriores, aunque podrían no estar adecuadamente priorizados en las orientaciones curriculares vigentes. A nivel ministerial, se recomienda la revisión de la identificación de objetivos basales reales, basándose en evidencia empírica sobre progresiones conceptuales de aprendizaje, coherente con los planteamientos de Zompero Correo et al. (2022) sobre desarrollo progresivo de competencias científicas. Esta revisión contribuiría a alinear la priorización curricular con las necesidades reales de construcción del conocimiento, no solo con consideraciones de

relevancia temática. Particularmente, se sugiere que establecimientos educacionales asignen tiempos curriculares específicos para diagnóstico de ideas previas y nivelación conceptual, reconociendo que estos procesos constituyen pre-requisitos para el aprendizaje significativo y no actividades opcionales o secundarias,

En el ámbito de la formación inicial de docentes de ciencias, los hallazgos de esta investigación sugieren la importancia de programas integrales que incorporen tanto metodologías activas como estrategias de diagnóstico sistemático de concepciones alternativas. La investigación evidenció que la efectividad diferencial de ambas metodologías depende críticamente del dominio teórico y práctico del docente sobre los principios pedagógicos que las sustentan. Una formación docente integral en esta área requeriría contemplar, de manera integrada, los siguientes componentes: (a) los principios teóricos del aprendizaje multimedia (Mayer, 2005) y su aplicación a la enseñanza de procesos científicos complejos; (b) las estrategias para diagnosticar y transformar modelos mentales alternativos (Tamayo et al. 2014); (c) el modelo de investigación-acción de Elliott, 1993) como herramienta para la reflexión y mejora continua de la práctica docente; y (d) el manejo técnico-pedagógico de herramientas digitales para la creación colaborativa de representaciones multimedia. Comprender cómo se desarrolla la progresión conceptual real en los estudiantes y cómo aprenden significativamente en contextos específicos permitiría a los docentes tomar decisiones pedagógicas más informadas y pertinentes para cada grupo según su nivel y contexto. Esta formación, idealmente continua y colaborativa, contribuiría a enriquecer la práctica docente en establecimientos educacionales de diverso tipo, potenciando el acceso equitativo a metodologías efectivas y contribuyendo así a la mejora de las trayectorias educativas en contextos de vulnerabilidad social.

Como proyección investigativa a largo plazo, se propone el desarrollo de estudios longitudinales que evalúen el impacto sostenido de secuencias didácticas que integren complementariamente metodología tradicional y stop motion a lo largo de diferentes niveles educativos. Estos estudios deberían, idealmente, seguir cohorte de estudiantes desde

educación básica hasta educación media, evaluando sistemáticamente aspectos tales como: la retención y transferencia de conocimientos conceptuales a nuevos contextos biológicos, el desarrollo progresivo de competencias científicas (observación, análisis, comunicación), y el impacto en las actitudes y motivación hacia el aprendizaje de las ciencias. Esta línea investigativa responde a las recomendaciones de Farrokhnia et al. (2020) sobre la necesidad de investigaciones empíricas longitudinales en educación multimedia, y contribuiría a la construcción de evidencia robusta para la toma de decisiones curriculares y pedagógicas fundamentadas en contextos escolares diversos. Adicionalmente, estudios posteriores deberían incorporar variables contextuales como nivel socioeconómico, disponibilidad de recursos tecnológicos, formación y experiencia previa del docente, y características institucionales, permitiendo identificar las condiciones facilitadoras para la implementación exitosa de estas metodologías en contextos educativos de diferente composición. Finalmente, se sugiere que investigaciones futuras repliquen este diseño de investigación-acción en múltiples contextos geográficos y educativos del país, contando con validadores múltiples e independientes de los instrumentos de evaluación, para fortalecer la confiabilidad y generalización de los hallazgos.

La materialización de estas proyecciones, en aquellos contextos educacionales que dispongan de recursos, capacitación docente y apoyo institucional pertinentes, podría aportar a la mejora de la calidad educativa en ciencias naturales y a la construcción de prácticas pedagógicas más equitativas. En particular, en contextos, de vulnerabilidad social, el acceso a metodologías diversas y efectivas podría contribuir a enriquecer trayectorias educativas y ampliar las oportunidades de aprendizaje significativo. Esta investigación-acción, en su conjunto, busca aportar a la formación de ciudadanos con comprensión profunda de procesos biológicos fundamentales como la fotosíntesis, que los dote de herramientas conceptuales para comprender y valorar el rol de los ecosistemas en la regulación ambiental. Finalmente, reconociendo que la mejora educativa es un proceso continuo y multifactorial, se sugiere que futuras investigaciones continúen explorando innovaciones pedagógicas que integren rigor

metodológico, equidad de acceso y pertinencia contextual, contribuyendo gradualmente a la consolidación de una educación científica de calidad en el país.

REFERENCIAS

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo* (2ª ed.). Trillas.
- Barak, M., Sheva, S., & Gorodetsky, M. (1999). Sustained effects of a curriculum on students' understanding of photosynthesis and respiration. *Journal of Biological Education*, 33(2), 82–87. <https://doi.org/10.1080/095006999290075>
- Bórquez, E. (2024). Análisis de la congruencia entre las habilidades científicas y los objetivos curriculares en la educación chilena. *Revista de Educación*, 45(4), 127-150. <https://rie.ufro.cl/index.php/educacion/article/view/3346/2380>
- Capuno, F. T. (2016). The use of alternative animation and 3-D model in teaching photosynthesis. *International Journal Of Biology Education*, 5(1). <https://doi.org/10.20876/ijobed.96203>
- Charrier Melillán, M., Cañal, P., & Rodrigo Vega, M. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 401–410. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3790>
- Correa, A. F. Z., et al. (2022). Competencias científicas en los currículos de Ciencias Naturales: estudio comparativo entre Brasil, Chile y Colombia [versión HTML]. *Praxis & Saber*, 13(34), e13401. <https://www.redalyc.org/journal/4772/477275069002/html/>
- Currículum Nacional. (2023). *Priorización curricular 2023-2025: Ciencias Naturales*. Ministerio de Educación de Chile. <https://www.curriculumnacional.cl/>
- Díaz, R., Manrique, M., et al. (2013). La percepción de la fotosíntesis y su relación con la conservación de la energía. *Educación Científica*, 45(2), 25–40.
- Díaz-Barriga, F. (2005). *Estrategias para el aprendizaje significativo*. McGraw-Hill.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. Routledge.

Elliott, J. (1993). El cambio educativo desde la investigación-acción (4ª ed.). Madrid: Ediciones Morata. (ISBN: 84-7112-383-5).

Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F. G., & van Joolingen, W. R. (2020). Student-generated stop-motion animation in science classes: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 29(6), 797-812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>

Fermani, M., & Georgioui, M. (2023). Teaching photosynthesis using an inquiry-based approach via a digital educational platform to promote students' understanding. *European Journal of Education Studies*, 10(12), 1-17. <https://doi.org/10.46827/ejes.v10i12.5088>

Goff, E. E., et al. (2017). Variation in external representations as part of the classroom experience: The use of Virtual Cell Animation to teach photosynthesis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(3), 246-255. <https://doi.org/10.1002/bmb.21032>

González, R. E., Barrios, R. J., Fernández, Y. E., & Rosa, M. D. (2020). El proceso de fotosíntesis como contenido escolar: análisis en textos del nivel secundario. *Educación, Lenguaje y Sociedad*, XVIII (18), 1-25.

Harlen, W. (1999). *Teaching science for understanding*. Routledge.

Hoban, G. (2007). Increasing science learning by re-visioning animation. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1687-1706.

Hoban, G., & Nielsen, W. (2013). Stop motion animation: Its role in the construction of student understanding. *Research in Science Education*, 43, 523-541.

Izquierdo, J. (2000). Modelo cognitivo de ciencia escolar. *Revista de Didáctica de las Ciencias*, 1(2), 15-35.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.

Kamp, E., & Deaton, C. (2013). Using peer evaluation and assessment rubrics for student-generated videos. *Journal of Effective Teaching*, 13(1), 49–61.

Kassa, M. M. (2024). Effect of using multimedia and dynamic classroom interaction instruction on students' achievement in learning photosynthesis and respiration. *Heliyon*, 10, e033464.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e033464>

Kaufmann, J-C (2021). *La entrevista comprensiva*. Dado Ediciones

Kidman, G., & Hoban, G. (2012). Scaffolding scientific explanations during stop motion animation development. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1615–1638.

Latapie, C. A. (2007). Estrategias para potenciar el aprendizaje significativo en entornos multimedia. *Revista de Educación*, 1(52), 45–62.

Latorre, A. (2005). *La investigación-acción: Conocer y cambiar la práctica educativa* (3ª ed.). Barcelona: Graó. (ISBN: 978-84-7827-292-1).

Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Ministerio de Educación de Chile. (2016). Programa de estudio de Ciencias Naturales, Primero Medio (Primera Edición).

Ministerio de Educación de Chile. (2018). Programa de estudio de Ciencias Naturales, Tercero Año Básico (Segunda Edición).

Ministerio de Educación de Chile. (2018). Programa de estudio de Ciencias Naturales, Sexto Año Básico (Segunda Edición).

Ministerio de Educación (MINEDUC). (2023). *Priorización curricular 2023-2025*. Unidad de Currículum y Evaluación. <https://www.curriculumnacional.cl/>

Molina, R. F. (2012). El concepto de fotosíntesis en los textos escolares y su relación con las concepciones alternativas de los docentes y estudiantes. *Uni-pluriversidad*, 12(3), 38-45. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.15152>

National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. (1979). *The Belmont Report: Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research*. Department of Health, Education, and Welfare. <https://www.hhs.gov/ohrp/regulations-and-policy/belmont-report/>

Oyarzún, F., Peri, A., & Felmer, P. (2025). Desarrollo de habilidades de pensamiento científico y actitudes hacia la ciencia en estudiantes de educación media a través de una estrategia de resolución colaborativa de problemas. *Calidad en la Educación*, (58), 1-21. <http://www.calidadenlaeducacion.cl/index.php/rce/article/view/1580/838>

Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.

Peter, V., Ausmeier, S., & Wedekind, I. (2011). Students creating animated movies about science topics. *Research in Science Education*, 41(4), 515-535. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9177-y>

Raviolo, C. (2019). *Aprendizaje multimedia*. Editorial Educación.

Russell, A. W. (2004). Photosynthesis In Silico. Overcoming the challenges of learning about photosynthesis using a multimedia package. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 32(4), 221-227. <https://doi.org/10.1002/bmb.2004.494032042219>

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312.

Tamayo, M., Burillo, P., & García, E. (2014). Modelos mentales en la didáctica de las ciencias: construcción, transformación y uso. *Revista de Educación en Ciencias*, 12(2), 220-238.

Tamayo, M., et al. (2014). Modelos mentales y su importancia en la didáctica de las ciencias. *Revista de Educación Científica*, 22(1), 15-30.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

Teplá, M., et al. (2014). Photosynthesis in dynamic animations. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1683-1686. <https://doi.org/10.1021/ed300213h>

Vega Páez, Y. L., Torres Merchán, N. Y., & Pedreros Benavides, E. Y. (2020). Concepciones de los estudiantes de un contexto rural sobre la fotosíntesis. *Praxis & Saber*, 11(27), 93-113. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n27.2020.10889>

Wittrock, M. C. (1989). Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist*, 24(4), 345-376.

Ziedler, S., et al. (2005). Aprendizaje situado y enseñanza de la ciencia: el caso de la fotosíntesis en contexto socio-científico. *Revista Iberoamericana de Educación*, 37(5), 15-28.

Zompero Correo, A. F., Parga Lozano, D. L., Werner da Rosa, C. T., & Vildósola Tibaud, 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>

CÁPITULO 8: ANEXOS

Los anexos se encuentran disponibles en el documento adjunto a este escrito. A continuación, se presenta el índice correspondiente a este capítulo para facilitar su localización y lectura.

Autorización institucional	1
Resultados diagnósticos grupo control	3
Resultados diagnósticos grupo experimental	111
Resultados finales grupo control	221
Resultados finales grupo experimental	325