

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

LA MODELIZACIÓN DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS, ABIÓTICOS Y SUS
INTERACCIONES EN LOS ECOSISTEMAS CON ESTUDIANTES DE PRIMER
GRADO DE SECUNDARIA

Tesis que presenta

I.A. Paula Cecilia Martínez Guerrero

Para obtener el Grado de

Maestra en Educación en Biología para la Formación Ciudadana

Directoras de tesis

Dra. Roxana Gutiérrez Vidal, Dra. Nora Bahamonde

Monterrey, Nuevo León

Noviembre, 2024

Gracias al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), por la beca otorgada para apoyar el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Dedicatoria

A mis padres.

Este trabajo es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

Agradecimientos

A Dios.

Al CINVESTAV por aceptarme como estudiante, la beca otorgada y ser mucho más que un espacio de aprendizaje para el desarrollo de esta investigación.

A la Escuela Secundaria Técnica No. 14, por permitirme realizar en sus instalaciones la fase de aplicación del proyecto, a los alumnos y profesor involucrados, así como al director de la institución.

A mis asesoras de tesis por permitirme construir juntas este proyecto. A la Dra. Roxana Gutiérrez Vidal, por ser guía y calma en mi crecimiento académico y personal. Por la humildad y el tiempo de aprender para después pacientemente enseñarme, por compartir sus conocimientos y muestras de compromiso para conmigo y el proyecto. A la Dra. Nora Bahamonde, por compartir su saber y experiencia para el desarrollo de este proyecto.

A mis lectoras, las Dra. Teresa Guerra y Dra. Alma Adrianna Gómez, por sus detalladas y atinadas observaciones y comentarios siempre en pro de mejorar el proyecto de investigación. Por su tiempo, compromiso y dedicación.

Al grupo de profesores que pertenecen al Programa de la Maestría en Educación en Biología para la Formación Ciudadana por su entrega, entusiasmo y compromiso por ofrecer clases innovadoras y de calidad. Por su paciencia y por generar un ambiente de seguridad y confianza dentro de las aulas.

Al departamento de Didáctica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, especialmente a la Dra. Ainoa Márzabal y su equipo de trabajo, a la Dra. Macarena Soto y el Dr. Yefrin Ariza. Por los consejos, aportaciones clave y hospitalidad.

A mis compañeros de generación, Emir, Bere, Yair, Vere, Jessi, Magy, Fer, Javier, y Reina por su acompañamiento, esto no hubiera sido lo mismo sin ustedes.

A mis padres, por su fe en mí, que es la guía de todos mis esfuerzos. A mi mamá, por ser mi inspiración constante. Por enseñarme con su ejemplo que la dedicación, el amor y la perseverancia pueden superar cualquier obstáculo; A mi papá, por ser mi apoyo incondicional, brindándome el amor, la confianza y la seguridad que necesito.

A mis hermanas y hermano, por ser fieles testigos de cada reto y cada logro. Por su amor incondicional.

A Joselo, por querer, creer, leer, escuchar y acompañar. Por alentarme a traer mis anhelos a la realidad y nunca dudar de mí.

Resumen

Abordar temáticas que enfatizan la importancia y la cualidad sistémica de las interacciones entre los seres vivos y su entorno, fomenta la conciencia ambiental y el desarrollo de habilidades en los estudiantes. Esta perspectiva contribuye a una educación que forma ciudadanos responsables, capaces de tomar decisiones informadas y adoptar actitudes adecuadas frente a los problemas ambientales contemporáneos. En este contexto, la modelización y la progresión de modelos juegan un papel crucial, ya que permiten a los estudiantes construir y afinar gradualmente su comprensión de la realidad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar y analizar la evolución de los modelos mentales construidos por un grupo de estudiantes de primero de secundaria. Este análisis se basó en el modelo científico escolar que describe los componentes bióticos y abióticos y sus interacciones en los ecosistemas, utilizando una metodología de investigación cualitativa. La modelización de los estudiantes se llevó a cabo a través del diseño e implementación de una secuencia didáctica teórico-práctica. La actividad central de la secuencia didáctica consistió en la observación y experimentación con componentes bióticos (semillas y plantas) y componentes abióticos (tierra, luz y agua) y sus interacciones.

El análisis de los modelos iniciales, intermedios y finales de los estudiantes reveló diferencias significativas en cuanto a precisión y estructura, evidenciando también un progreso parcial hacia una aproximación sistémica. La comparación de estos modelos permitió evaluar la efectividad de las actividades didácticas, destacando que las actividades experimentales mejoran la comprensión de los elementos del modelo científico, especialmente en la identificación de interacciones complejas en los ecosistemas. Los resultados sugieren que la modelización es una estrategia pedagógica valiosa para profundizar en la comprensión de las interacciones ecológicas, mejorar los procesos educativos y aumentar la motivación estudiantil.

Este estudio aporta a la línea de investigación sobre la modelización, con un enfoque específico en la progresión de modelos.

Abstract

Addressing topics that emphasize the importance and systemic quality of interactions between living beings and their environment fosters environmental awareness and skill development in students. This perspective contributes to an education that shapes responsible citizens, capable of making informed decisions and adopting appropriate attitudes towards contemporary environmental issues. In this context, modeling and the progression of models play a crucial role, as they allow students to gradually build and refine their understanding of reality.

The objective of this work was to evaluate and analyze the evolution of mental models constructed by a group of first-year secondary students. This analysis was based on the school scientific model that describes biotic and abiotic components and their interactions in ecosystems, using a qualitative research methodology. The students' modeling was carried out through the design and implementation of a theoretical-practical didactic sequence. The central activity of the didactic sequence consisted of observation and experimentation with biotic components (seeds and plants) and abiotic components (soil, light, and water) and their interactions.

The analysis of the students' initial, intermediate, and final models revealed significant differences in terms of precision and structure, also indicating partial progress toward a systemic approach. Comparing these models allowed for the evaluation of the effectiveness of the didactic activities, highlighting that experimental activities enhance the understanding of scientific model elements, particularly in identifying complex interactions in ecosystems. The results suggest that modeling is a valuable pedagogical strategy for deepening the understanding of ecological interactions, improving educational processes, and increasing student motivation.

This study contributes to the line of research on modeling, with a specific focus on the progression of models.

Índice

Introducción	11
Justificación	13
Planteamiento del problema.....	15
Pregunta de investigación	17
Objetivos	17
5.1 Objetivo general	17
5.2 Objetivos específicos.....	17
Marco teórico	18
6.1 Modelo y modelización	18
6.1.1 El término modelo	18
6.1.2 Modelización en la enseñanza de las ciencias	19
6.1.3 La modelización y la progresión de modelos	21
6.1.4 Prácticas de modelización en el aula de ciencias.....	23
6.1.5 Procesos de modelización abordando componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.	25
6.1.6. Los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas como estrategia educativa para la modelización de componentes bióticos, abióticos y sus interacciones.....	28
6.2 Ideas iniciales de los estudiantes sobre el modelo: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en un ecosistema.....	31
El modelo científico escolar: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas, y el proceso de modelización de los estudiantes.....	33
7.1 Modelo científico escolar: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.	33
7.2 Proceso de construcción del Modelo Científico Escolar	34
7.3 Exploración de las interacciones entre componentes bióticos y abióticos durante los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas	37
Metodología	39
8.1 Contexto y participantes	39
8.2 Secuencia didáctica.....	41
8.2.1. Diseño de la secuencia didáctica	41
8.3 Fundamentos teóricos de la propuesta metodológica	49
8.3.1 Diseño de categorías	49
8.3.2. Consideraciones para el análisis de los datos con relación al diseño de las categorías.....	56
8.4 Recolección y selección de datos	58

8.4.1 Muestra seleccionada para el análisis de datos	58
8.4.2 Instrumento de recolección de datos	59
8.4.3. Selección de datos para el análisis	61
8.5 Tolerancias y especificaciones en el análisis de las representaciones.....	65
8.6 Casos ejemplares del análisis de los datos.....	67
8.7 Representación gráfica de los modelos construidos por los estudiantes....	79
8.7.1. Caso ejemplar para la explicación de los diagramas.	80
Resultados	82
9.1 Resultados por estudiantes.....	83
9.1.1. El caso de la estudiante E1	83
9.1.2. El caso del estudiante E2	85
9.1.3. El caso de la estudiante E3	86
9.1.4. El caso del estudiante E4	88
9.1.5. El caso del estudiante E5.....	89
9.1.6. El caso de la estudiante E6	90
9.1.7. El caso del estudiante E7	91
9.1.8. El caso de la estudiante E8	92
9.2 Resultados grupales	93
9.2.1 Resumen de resultados grupales para la idea estructurante de presencia	93
9.2.2 Resultados grupales para la idea estructurante de interacción.....	95
9.2.3 Resultados grupales para la idea estructurante de transformación	97
Discusión.....	103
Conclusiones.....	112
Perspectivas	114
Referencias	115
Anexos.....	119
12.1 Anexo 1	120

Índice de tablas

Tabla 1. Secuencia didáctica _____	44
Tabla 2. Categorías propuestas para la evaluación de la progresión de los modelos. _____	51
Tabla 3. Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de precisión. _____	52
Tabla 4. Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de estructura _____	53
Tabla 5. Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de aproximación sistémica _____	55
Tabla 6. Actividades propuestas para la secuencia didáctica _____	60
Tabla 7. Tolerancias establecidas para el análisis de los modelos _____	65
Tabla 8. Especificaciones establecidas para el análisis de los modelos _____	66
Tabla 9. Ejemplos de análisis del criterio de precisión para cada una de las ideas clave estructurantes. _____	67
Tabla 10. Ejemplos de análisis del criterio de estructura para cada una de las ideas clave estructurantes. _____	70
Tabla 11. Ejemplos de análisis del criterio aproximación sistémica para cada una de las ideas clave estructurantes. _____	75
Tabla 12. Resumen de análisis de la categoría presencia – precisión. _____	93
Tabla 13 Resumen de análisis de la categoría presencia – estructura. _____	94
Tabla 14 Resumen de análisis de la categoría interacción – estructura. _____	95
Tabla 15 Resumen de análisis de la categoría interacción – aproximación sistémica _____	96
Tabla 16 Resumen de análisis de la categoría transformación – precisión _____	97
Tabla 17 Resumen de análisis de la categoría transformación – estructura _____	98
Tabla 18 Resumen de análisis de la categoría transformación – aproximación sistémica _____	99

Índice de figuras

Figura 1. Evolución de los aprendizajes científicos. _____	20
Figura 2. Etapas en el proceso de aprendizaje propuestas por Sanmartí. _____	21
Figura 3. Proceso de modelización _____	35
Figura 4. Esquemas de interacciones específicas dentro de un ecosistema y en procesos específicos. _____	36
Figura 5. Actividades propuestas para la secuencia didáctica _____	44
Figura 6. Instrumentos de evaluación empleados durante la secuencia didáctica. _	59
Figura 7. Relación entre las sesiones de la secuencia didáctica, actividades y los momentos de análisis _____	61
Figura 8. Actividades consideradas para la evaluación de los modelos iniciales de los estudiantes _____	62
Figura 9. Actividades consideradas para la evaluación de los modelos intermedios de los estudiantes _____	62
Figura 10. Actividades consideradas para la evaluación de los modelos finales de los estudiantes. _____	63
Figura 11. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E7. _____	80
Figura 12. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E1. _____	84
Figura 13. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E2 _____	85
Figura 14. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E3. _____	87
Figura 15. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E4. _____	88
Figura 16. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E5. _____	89
Figura 17. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E6. _____	90
Figura 18. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E7. _____	91
Figura 19. Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E8. _____	92
Figura 20 Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en la identificación de componentes. _____	100
Figura 21 Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en la identificación y complejización de interacciones. _____	101
Figura 22 Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en identificar nuevos componentes e interacciones complejas entre estos nuevos componentes. _____	102
Figura 23. Calendario de planeación y diseño inicial de la secuencia didáctica. _	120
Figura 24. Calendario de implementación de la secuencia didáctica. _____	121

Introducción

El presente estudio pretende contribuir a las líneas de investigación de enseñanza de las ciencias, que buscan incidir positivamente en los procesos de enseñanza-aprendizaje desde el enfoque de la modelización. Además, releva la importancia que representa para una formación ciudadana que los estudiantes comprendan conceptos clave relacionados con el funcionamiento de los ecosistemas, orientados a un razonamiento complejo (García-Rodeja et al., 2020).

La modelización es un componente esencial en la educación, ya que permite traducir la teoría a la realidad a través de representaciones, lo cual mejora los procesos comunicativos cruciales para la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes (Abella, S., 2021). Permite trazar trayectorias de avance en el conocimiento, identificar los obstáculos de aprendizaje durante esta trayectoria, diseñar secuencias de actividades e implementar el uso de recursos en el aula efectivos sobre temas específicos (Aragón et al., 2018)

El objetivo de este trabajo es evaluar y analizar la progresión de los modelos (Oliva, 2019) mentales construidos por un grupo de estudiantes de primero de secundaria teniendo como referencia el *modelo científico escolar* (Lozano et al., 2020) de componentes bióticos y abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.

La progresión de los modelos mentales será evaluada a partir de representaciones expresadas por alumnos de la Escuela Secundaria Técnica No. 14 de San Luis Potosí que realizaron durante la implementación de una secuencia didáctica. La secuencia didáctica fue diseñada en el marco de la modelización escolar empleando distintas actividades de enseñanza-aprendizaje, como la elaboración de dibujos, textos, mapas conceptuales, respuesta a cuestionarios y actividades experimentales a partir de fenómenos fácilmente observables como la germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Se analizaron las representaciones elaboradas por los estudiantes con soporte multimodal (en formato texto y gráfico) (Gómez A., 2014; Pérez et

al., 2023) para caracterizar la progresión de los modelos construidos por los estudiantes: modelo inicial (MI), modelo intermedio (MIM) y modelo final (MF).

Para llevar a cabo la evaluación de las representaciones, se implementó un sistema de categorías basado en la propuesta de ideas clave estructurantes de Bahamonde y Gómez Galindo (2016), analizadas mediante criterios relevantes para la evaluación de la progresión del modelo científico escolar.

Evaluar y analizar la progresión de los modelos permite identificar la trayectoria de aprendizaje de los estudiantes al construir sobre sus conocimientos previos y adquirir nuevos conceptos de manera gradual. Es una oportunidad para profundizar en las implicaciones curriculares y metacognitivas, así como en las estrategias de enseñanza y recursos útiles para la comprensión de temas específicos.

Justificación

El cambio climático, la sobreexplotación de recursos naturales, el consumo irresponsable o la escasez de agua son problemáticas ambientales actuales que requieren la acción conjunta de las sociedades y los gobiernos como parte de la solución. Por lo tanto, se requiere una educación que forme ciudadanos responsables, capaces de tomar decisiones informadas y adoptar actitudes adecuadas ante estas problemáticas. Como parte de esta formación ciudadana es indispensable abordar temáticas que enfatizan la relación de los seres vivos y su entorno, conocida ampliamente como ecosistema.

Esta perspectiva no solo contribuye a la comprensión profunda de la interconexión entre los componentes de los ecosistemas, sino que también fomenta la conciencia ambiental y el desarrollo de habilidades, para abordar y resolver los problemas ambientales contemporáneos.

Por lo tanto, es necesario abordar un aspecto del modelo ecosistema, destacando la identificación y la importancia de las interacciones entre los distintos componentes bióticos y abióticos que conforman el ecosistema. El énfasis recae en comprender la cualidad sistémica de estas interacciones, en lugar de simplemente reconocer la presencia aislada de dichos componentes, lo que permite comprender la importancia de cada uno de los componentes del ecosistema.

Se propone una innovación educativa que promueva que los estudiantes aprendan y valoren el modelo científico de las interacciones entre componentes bióticos y abióticos en los ecosistemas, empleando distintas actividades de enseñanza y aprendizaje. Estas actividades tienen el potencial de modificar las ideas de los estudiantes acerca de que este contenido científico es ajeno e inconexo con su vida cotidiana y su contexto social.

En este sentido, la modelización vincula los modelos científicos con la realidad mediante representaciones construidas por los estudiantes. El interés didáctico de la modelización y la progresión de modelos se basa en reconocer los conocimientos que adquieren los estudiantes, avanzando gradualmente hacia una comprensión más precisa de la realidad (Oliva, 2019). Para,

posteriormente, intervenir de manera eficaz en la implementación de recursos, actividades y currículos que garanticen la construcción del modelo científico de referencia de manera progresiva, desarrollando en los estudiantes habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas. La evolución de estos modelos surge de diversas actividades, influenciadas por factores humanos y el sistema de valores del grupo que las realiza (Izquierdo et al., 1999).

La justificación de este proyecto se basa en la evidente influencia positiva de la modelización y su escasa presencia en las aulas de educación secundaria (Valdez, P. y Olivares, A., 2017). Así como la posibilidad que se les ofrece a los estudiantes de entender mejor algunos fenómenos cotidianos a través de la aplicación de teorías científicas, facilitando no solo su comprensión del mundo, sino también de sí mismos y de la sociedad de la que son parte (Izquierdo, et al., 1999). La iniciativa se posiciona como una contribución valiosa a una línea de investigación emergente en la enseñanza de las ciencias, promoviendo así la adopción de enfoques más efectivos y relevantes en el ámbito escolar.

Planteamiento del problema

En la enseñanza de las ciencias, la Biología históricamente ha incluido una selección de temas que abarcan modelos científicos relacionados con el medio ambiente. Abordar temas como el ecosistema es esencial en esta rama para comprender los problemas ambientales a los que nos enfrentamos diariamente. Sin embargo, estos temas suelen abordarse de manera tradicional, considerándolos como conceptos ajenos a los estudiantes y repitiendo contenidos. A menudo, el objetivo se centra en el estudio aislado de los componentes del ecosistema, sin destacar las diversas interacciones entre ellos (Di Salvo et al., 2009).

Es crucial reconocer que un ecosistema no puede existir sin la interacción entre sus componentes bióticos entre sí, así como entre estos y los componentes abióticos, y entre los componentes abióticos entre sí (Sánchez-Cañete y Pedrajas, 2010).

Esta manera clásica de abordar la ciencia ha llevado a que los estudiantes reconozcan simplemente que el ecosistema es un espacio donde coexisten numerosos seres vivos, lo que refleja la dificultad para percibir los aspectos organizativos que sustentan esta concentración de organismos (Sánchez-Cañete y Pedrajas, 2010). Incluso pocos se reconocen como parte de este e ignoran la importancia de las interacciones entre los distintos componentes bióticos y abióticos del ecosistema.

Dentro de las múltiples causas asociadas a estas ideas en el alumnado, se encuentra uno de los desafíos actuales de la educación: transformar la enseñanza de las ciencias. Dejar atrás las prácticas de repetición y memorización de contenido (Gómez, A., 2011), para abrir camino a una alfabetización científica. Es decir, una formación en la que los estudiantes puedan resolver problemas complejos, abordando contenidos que impacten significativamente a nivel personal y social. Se vuelve necesario crear un vínculo entre la visión científica, las necesidades de los estudiantes y la

sociedad. Abordar modelos científicos con un impacto significativo en la sociedad, desde un enfoque de modelización que evalúe la progresión de los modelos construidos por los estudiantes, ofrece la oportunidad de romper con el esquema tradicional de enseñanza. Este enfoque permite identificar el avance en la construcción del conocimiento por parte de los estudiantes, lo que a su vez facilita la implementación de estrategias de enseñanza-aprendizaje más efectivas para el desarrollo de dichos conocimientos.

Pregunta de investigación

¿Cómo es la progresión de modelos construidos por estudiantes de primer año de secundaria, a partir del diseño e implementación de una secuencia didáctica para la construcción del modelo de componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas?

Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar y analizar la progresión de modelos de un grupo de estudiantes de primero de secundaria sobre el modelo científico escolar componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.

5.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar e implementar una secuencia didáctica de carácter teórico-práctico que permita a los estudiantes llevar a cabo procesos de modelización sobre el modelo científico escolar de componentes bióticos, abióticos y algunas interacciones específicas en los ecosistemas.
- b) Caracterizar la progresión de los modelos llevados a cabo por los estudiantes sobre interacciones específicas entre componentes bióticos y abióticos en los ecosistemas, empleando una secuencia didáctica diseñada e implementada con un enfoque de modelización.
- c) Identificar las diferencias entre modelos iniciales, intermedios y finales de los estudiantes, con el fin de valorar las actividades propuestas en la secuencia didáctica a partir de un diseño experimental para la modelización.

Marco teórico

6.1 Modelo y modelización

6.1.1 El término modelo

Para aprender ciencias, no basta con conocer teorías y conceptos científicos; también es esencial poder utilizarlos para explicar fenómenos de la naturaleza (Rovira y Sanmartí, 1998). Estudiar los modelos mentales de los estudiantes y el proceso de construcción de estos en el aula, expresados mediante representaciones, ha permitido identificar factores importantes en el aprendizaje de los estudiantes útiles para mejorar las estrategias de enseñanza.

Antes de abordar el tema de la modelización, es necesario señalar definiciones sobre modelo, modelo científico y modelo científico escolar, dado su carácter polisémico. Los estudiantes construyen de manera individual modelos mentales que son producto de sus ideas, experiencias y conocimientos sobre un tema específico. Estos modelos pueden ser expresados de distintas maneras mediante representaciones. Este proyecto de investigación utilizó la definición de **modelo** por Oh y Oh (2011), quienes lo consideran como las “construcciones mentales que son simplificadas y parciales de objetos y fenómenos para poder describir, predecir y explicar aspectos que nos interesen de esos objetos o fenómenos”. Se entiende por **representación** una *expresión concreta de un modelo* (construcciones mentales) en algún registro semiótico determinado (lenguaje natural, imagen, maqueta, escrito, etc.) (Adúriz-Bravo et al., 2005). Esta expresión tiene un propósito particular que puede ser comunicativo, cognitivo u operatorio, sirviendo como puente entre el modelo que deseamos que el estudiante desarrolle y la visión de los fenómenos que se busca que sea capaz de representar.

Por tanto, accedemos a los modelos construidos por los alumnos de forma indirecta mediante las representaciones que generan.

Por otro lado, debemos reconocer qué es un **modelo científico**. Este término se refiere al modelo consensuado y aceptado por la comunidad científica utilizado para comprender y explicar fenómenos. Cuando un modelo científico es *reconstruido para trabajarse en el aula* se conoce como **modelo científico escolar**. Según Kattmann et al. (2012):

“Los modelos científicos escolares mantienen las características de los modelos científicos, no son versiones simplificadas o incompletas de los modelos científicos de la ciencia profesional, sino una reconstrucción didáctica del conocimiento científico consensuado realizada especialmente para favorecer su enseñanza y aprendizaje”.

Estos se consideran como un conjunto de ideas que permiten explicar teóricamente un fenómeno y que se adaptan bien a las intervenciones experimentales, discursivas y representacionales de los estudiantes sobre el fenómeno estudiado (Gómez, 2014).

6.1.2 Modelización en la enseñanza de las ciencias

El uso de la modelización como estrategia educativa ha dado lugar a una prometedora línea de investigación conocida, de manera general, como enseñanza y aprendizaje basado en modelos (Gilbert et al., 2000). Su objetivo principal es fomentar aprendizajes significativos en los estudiantes, determinar la validez de los modelos expresados y lograr una mejor comprensión de las ideas científicas y teorías en los diferentes campos del saber a través de la enseñanza

De acuerdo con Garrido y Tena (2017), “la construcción de modelos por parte del alumnado debe plantearse como una evolución o progreso. Las ideas intermedias que estos presentan no se consideran erróneas, sino pasos necesarios dentro del camino o progresión de aprendizaje”.

Diseñar y desarrollar los procesos de enseñanza de manera que los estudiantes puedan avanzar gradualmente desde un nivel básico hacia modelos más complejos y cercanos a los modelos científicos conlleva típicamente explorar los fenómenos en cuestión a través de problemas significativos en el ámbito científico. Asimismo, esto permite que los estudiantes descubran nuevas variables, conexiones y similitudes a medida que avanzan (Sanmartí, 1997) (ver figura 1).

EVOLUCIÓN DE LOS APRENDIZAJES CIENTÍFICOS

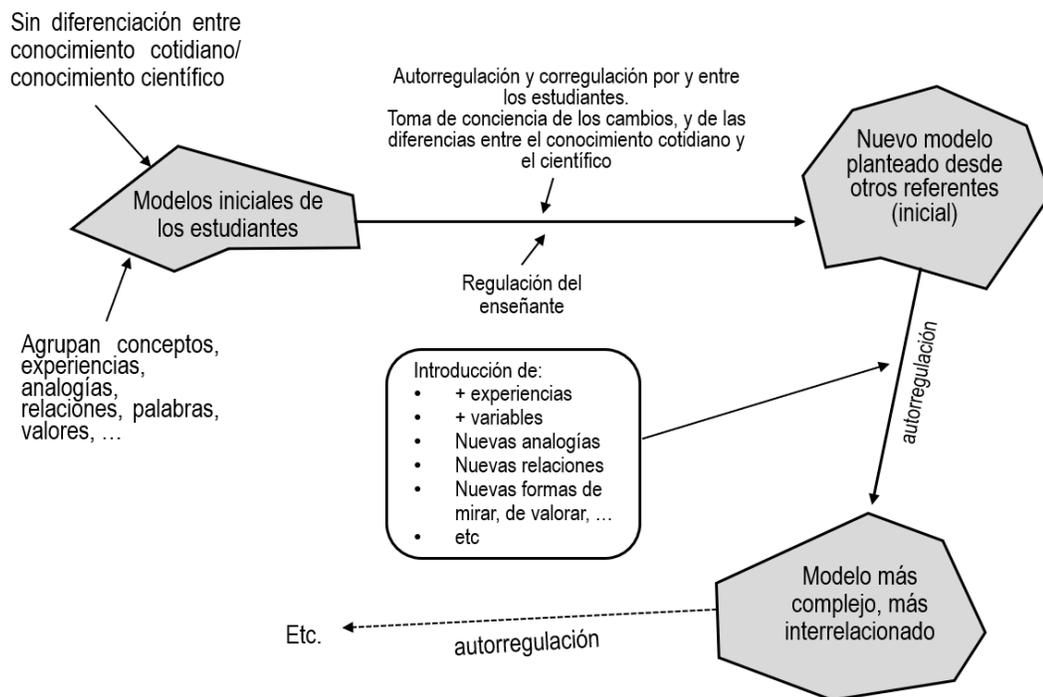


Figura 1.
Evolución de los aprendizajes científicos. Tomado de Neus Sanmartí, (1997), en Enseñar y aprender ciencias: algunas reflexiones, p.21.

Normalmente se trabaja con modelos en los que las actividades se diseñan progresivamente en una secuencia que considera distintas fases con objetivos didácticos específicos en el proceso de construcción de los nuevos conocimientos (Sanmartí, 1997). Proponer estas actividades implica un esfuerzo por parte del profesor que va mucho más allá de solo explicar la

lección y pensar en los ejercicios útiles para que los estudiantes logren apropiarse del contenido.

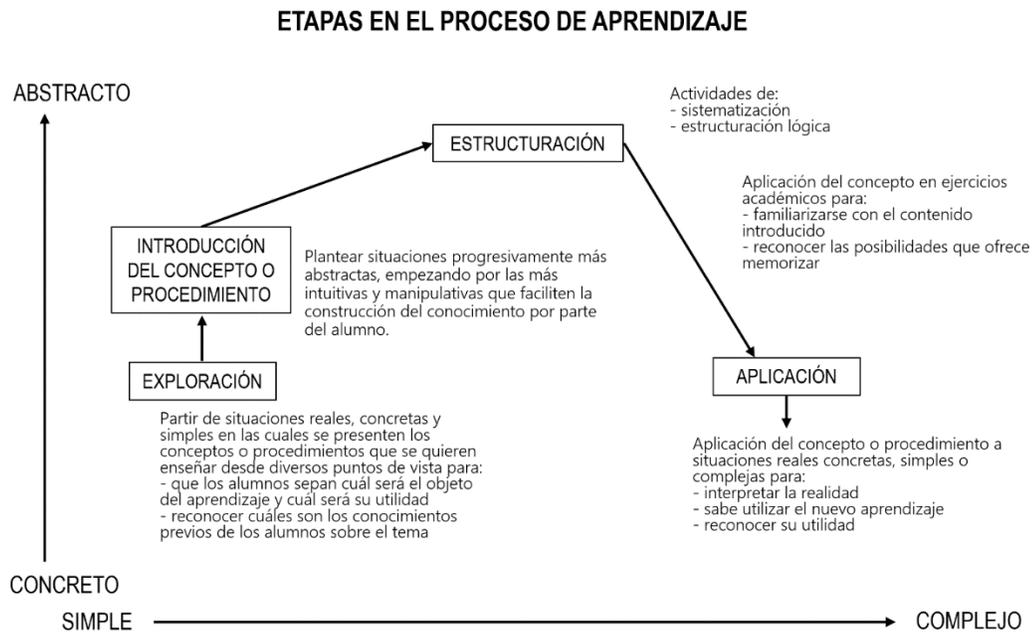


Figura 2. *Etapas en el proceso de aprendizaje propuestas por Sanmartí. Tomado de Neus Sanmartí, (1997), en Enseñar y aprender ciencias: algunas reflexiones, p.34.*

Sanmartí (1997), propone un modelo de etapas en el proceso de aprendizaje de complejidad progresiva que va de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto. Este proceso está conformado por cuatro etapas en donde se contemplan distintos tipos de actividades: actividades de exploración, actividades de introducción de conceptos, actividades de estructuración del conocimiento y actividades de aplicación (ver figura 2).

6.1.3 La modelización y la progresión de modelos

En la enseñanza de las ciencias, el concepto de modelización tiene carácter polisémico, al igual que el concepto de modelo, por lo que es pertinente señalar el significado de modelización que adopta este proyecto de investigación. En este proyecto se considera la modelización como *progresión de modelos*, es

decir, se enfoca en los modelos mentales construidos por los estudiantes, expresados mediante representaciones gráficas y textuales, que sirven como herramienta para estudiar la progresión de su conocimiento (Oliva, 2019). La idea de progresión de modelos apunta a establecer algunas etapas que permitan que los estudiantes puedan complejizar sus modelos a partir de nuevas ideas, experiencias y conocimientos. En primer lugar, se toman en cuenta los modelos personales e intuitivos de los estudiantes. Posteriormente, se evalúa cómo el estudiante va progresando hacia modelos cada vez más cercanos al modelo científico escolar, que es más complejo y afín al modelo científico. Los modelos que se van construyendo durante estas etapas de complejidad ascendente se expresan mediante representaciones elaboradas por los estudiantes en distintos momentos del proceso de aprendizaje y se denominan modelo inicial, modelo intermedio y modelo final.

Evaluar la progresión de los modelos permite identificar si existe una evolución en el conocimiento, dando cuenta de las diferencias representadas en cada etapa del proceso. Reconocer la progresión del aprendizaje se presenta como un elemento crucial para los docentes en la elaboración de estrategias de apoyo educativo efectivas, ya que permite una comprensión más profunda del desarrollo cognitivo y académico de los estudiantes. Este reconocimiento no solo ayuda a los docentes a identificar los niveles de competencia y las áreas de mejora de cada alumno, sino que también facilita la adaptación de las metodologías de enseñanza y los recursos didácticos a las necesidades individuales y colectivas de los estudiantes.

La *modelización con enfoque didáctico* es la relación entre los procesos de enseñanza y la progresión de modelos expresados por los estudiantes (Oliva, 2019). En este proyecto no se evalúa a fondo dicho enfoque, sin embargo, en el apartado de la discusión, se mencionan hallazgos propios de la relación entre la progresión de los modelos y las decisiones tomadas en el proceso de enseñanza (Oliva, 2019).

6.1.4 Prácticas de modelización en el aula de ciencias

Diversos autores coinciden en destacar lo alejada que está la integración de propuestas didácticas orientadas por enfoques de modelización de la realidad actual de las aulas de primaria y secundaria (Oliva, 2019). Además, el hecho de que los estudiantes y profesores se involucren en procesos de modelización dentro del aula implica importantes desafíos. Entre ellos se encuentran: pensar en qué tipos de modelos tienen sentido, cuáles son productivos para los estudiantes y el cómo involucrar a los estudiantes en las prácticas de modelización a partir de la actividad científica escolar (Izquierdo, 2005). Además de la necesidad de que los profesores piensen en cómo crear un ambiente en el aula en el que los estudiantes se sientan cómodos al compartir criterios para evaluar y revisar sus modelos (Acher, 2014).

La comunidad de Didáctica de las Ciencias se ha esforzado por llevar las actividades de modelización científica al aula de ciencias. Estos esfuerzos se reflejan en la búsqueda de currículos y estrategias que guíen a los estudiantes en la ejecución de diferentes aspectos de las prácticas de modelización. Por mencionar algunos autores, Lehrer et al., (2014) analizaron ejemplos de currículos que integran la modelización y discuten cómo estos pueden guiar a los estudiantes en la creación y evaluación de modelos científicos. Izquierdo et al., (1999) y Bahamonde y Gómez (2016) consideran aspectos como la relevancia para los estudiantes del tratamiento de temas socio-científicos, las etapas del aprendizaje y la creación de secuencias didácticas basadas en la inferencia del modelo educativo de llegada, entre otros factores (Gómez. A., 2014)

Las mismas autoras también han dirigido esfuerzos por evaluar programas de formación profesional para docentes entendiendo aspectos específicos de la modelización en las aulas, en una de sus investigaciones describieron y analizaron la evolución de los modelos de digestión humana, empleando las representaciones realizadas por un grupo de profesores y auxiliares académicos (Bahamonde y Gómez Galindo, 2016). Este estudio permitió

generar recomendaciones para mejorar la formación docente y el diseño de actividades educativas, contribuyendo a una mejor representación y comprensión de los modelos científicos en el aula.

Otro ejemplo en esta misma dirección es el diseño de una estrategia pedagógica basada en modelos para un grupo de docentes en formación de Educación Secundaria (n=48), con el objetivo de integrar la experiencia en espacios naturales (Costillo et al., 2014). Los autores concluyen que las actividades utilizadas en el diseño de la estrategia de enseñanza y aprendizaje son fácilmente aplicables a la formación de profesores, ya que fomentan el cambio conceptual en los docentes de secundaria en formación. Esto les permite poner en práctica sus modelos mentales, intercambiar experiencias y reflexionar tanto de forma colectiva como individual sobre la manera en que se deberían realizar estas salidas al entorno natural para lograr una enseñanza-aprendizaje de calidad en la Educación Secundaria.

También la modelización en la enseñanza de las ciencias ha problematizado acerca de qué tipo de modelos pueden ser productivos en la modelización escolar. Sin embargo, existe una brecha enorme entre la investigación y la práctica de la modelización en el aula. Por lo tanto, no es suficiente con profundizar en nuestro entendimiento teórico sobre los métodos y propuestas didácticas; también es necesario encontrar maneras de aplicar la teoría en las prácticas de aula (Oliva, 2019).

El presente estudio dirigió sus esfuerzos a contribuir a la línea de investigación de la modelización en la enseñanza de las ciencias. Específicamente, en estudiar la progresión de modelos construidos por estudiantes de secundaria, teniendo como referencia el modelo científico escolar componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas. Se propuso que los estudiantes valoraran las interacciones presentes en un ecosistema, asimilándolas a partir del trabajo teórico-práctico con los fenómenos de germinación y crecimiento de las plantas.

6.1.5 Procesos de modelización abordando componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.

Los conceptos relacionados con el tema de ecosistemas no son algo ajeno a la vida cotidiana. Por ello, los profesores requieren innovaciones que faciliten a los estudiantes el dominio de estos conceptos. Es especialmente importante abordar estos conceptos en el contexto de la problemática ambiental actual, ya que una comprensión profunda del funcionamiento de los ecosistemas puede fomentar una mayor conciencia y responsabilidad ambiental entre los estudiantes, preparándolos para enfrentar los desafíos ecológicos del presente y del futuro.

En este sentido, se han realizado distintas investigaciones desde un enfoque de modelización, buscando influir positivamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos conceptos. Entre ellos, Westra, en 2008, llevó a cabo una investigación en la que propuso una estrategia de enseñanza-aprendizaje para la enseñanza de la ecología en la educación secundaria, centrándose en el comportamiento de los ecosistemas mediante el uso del pensamiento sistémico y las actividades docentes basadas en la modelización. Se empleó un modelo que introdujo a los estudiantes al concepto de ecosistema, enfatizando *la interconexión entre organismos vivos y su entorno*. A través de actividades prácticas, exploraron los componentes de un ecosistema y comprendieron sus interacciones. Los resultados mostraron que los estudiantes comprendieron la complejidad de las interacciones de especies, entendiendo cómo las perturbaciones afectan todo el sistema, resaltando la interconexión de los procesos ecológicos. Los estudiantes mejoraron la comprensión de la dinámica de los ecosistemas y emplear esta estrategia de enseñanza fomentó la curiosidad e indagación sobre el mundo natural, estableciendo una base sólida para la alfabetización ecológica y el pensamiento sistémico.

En 2019, Hui Jin et al. realizaron una investigación enfocada en crear una progresión de aprendizaje para el pensamiento sistémico en ecosistemas,

destinada a estudiantes de secundaria y preparatoria. Su objetivo fue mejorar la comprensión de los estudiantes sobre cómo aplicar conceptos específicos de pensamiento sistémico para analizar las *relaciones interdependientes en los ecosistemas* y el impacto de las actividades humanas en estas relaciones. Un ejemplo de las actividades propuestas de esta investigación es el ítem del estudio de caso del Parque Nacional de Yellowstone en el que se retira una especie animal y el resto del ecosistema se ve afectado.

El estudio evaluó producciones escritas de 596 estudiantes de secundaria constando de cuatro niveles que describen patrones de razonamiento cada vez más sofisticados comúnmente utilizados por los estudiantes para explicar fenómenos relacionados con las relaciones interdependientes en los ecosistemas. En el nivel uno, los estudiantes no logran describir ninguna relación entre los organismos, en el nivel dos, los estudiantes describen relaciones en términos de necesidades de organismos individuales (interacción lineal), en el nivel tres los estudiantes identifican relaciones distantes y patrones de interacciones en ecosistemas y pueden intentar utilizar conceptos de pensamiento sistémico para explicar un fenómeno. Sin embargo, el estudiante no puede utilizar con éxito conceptos del sistema para construir explicaciones. Y en el nivel cuatro, los estudiantes logran utilizar conceptos de pensamiento sistémico para construir un mecanismo causal que explique fenómenos sobre las interacciones en los ecosistemas.

En general, los hallazgos del estudio indican que el 7% de los estudiantes se ubicaron en el nivel uno de razonamiento después de aplicar las actividades que pretendían una progresión del aprendizaje. La mayoría de los estudiantes se posicionaron entre los niveles dos (57%) y tres (33%), reconociendo relaciones lineales y complejas entre los componentes de un ecosistema. Solo el 3% de los estudiantes lograron complejizar sus modelos a un nivel sistémico. Las autoras subrayan la importancia de desarrollar progresiones de aprendizaje para apoyar a los estudiantes en la comprensión de conceptos

científicos complejos, particularmente en el contexto de los ecosistemas y sus relaciones interdependientes.

Por otro lado, Dozier, et al., (2023) realizaron una investigación sobre cómo los estudiantes de secundaria entienden las relaciones interdependientes de los ecosistemas, desde un enfoque de progresión de aprendizaje, se hizo uso del modelo Rash con datos de 1366 estudiantes. Los autores diseñaron actividades que les permitieran obtener evidencia sobre el aprendizaje de los estudiantes. Posteriormente, establecieron cuatro niveles de aprendizaje de complejidad ascendente con respecto a las interacciones entre los componentes de un ecosistema. El nivel inicial fue referido a las expresiones de conocimiento ingenuo de los estudiantes sobre los ecosistemas. El nivel dos, se enfocó en las relaciones directas entre los organismos (lineales). Mientras que, el nivel tres se relacionó con las relaciones indirectas (complejas) y el nivel cuatro a las relaciones sistémicas, en las cuales se predicen cambios en más de dos componentes, basándose en modificaciones en las poblaciones de organismos o en la disponibilidad de componentes no vivos.

Los autores concuerdan con investigaciones previas, al señalar que es poco probable que la comprensión de los estudiantes con referencia a las interacciones entre componentes de un ecosistema siga un trayecto simple y lineal. Por ejemplo, concluyen que suponer que las interacciones más complejas son necesariamente más difíciles de entender puede ser una exageración. Además, encuentran que la muestra de los estudiantes participantes de su investigación presenta dificultades para comprender la complejidad asociada con el cambio en las poblaciones de organismos, pero no de una manera significativamente mayor que la dificultad de entender la relación entre organismos individuales. No obstante, los estudiantes muestran una dificultad que aumenta notablemente en el reconocimiento de interacciones entre organismos cuando se incrementa el número de organismos vivos y no vivos en un ecosistema.

6.1.6. Los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas como estrategia educativa para la modelización de componentes bióticos, abióticos y sus interacciones.

Los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas han sido ampliamente utilizados como estrategia educativa en la enseñanza de las ciencias (Vidal y Membiela, 2014). Carrasquer-Álvarez y Ponz-Miranda (2023) consideran que estos procesos son útiles para que los estudiantes aprendan sobre la naturaleza del conocimiento científico y la ciencia misma. Si bien, estos procesos se utilizan ampliamente como modelo ser vivo, algunos investigadores rescatan hallazgos con referencia a la identificación de los componentes bióticos y abióticos y sus interacciones para la ocurrencia de estos procesos, como es el caso de Maguregui (2013). Este estudio se llevó a cabo con 72 estudiantes de primer grado de primaria, distribuidos en 18 grupos de trabajo, siguiendo una metodología con enfoque de indagación. En el cual se propusieron actividades de identificación de componentes bióticos y abióticos que influían en la germinación de semillas y su desarrollo posterior. Se evaluaron las respuestas de los estudiantes sobre los componentes que influyen en el proceso de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Se realizó una primera evaluación de las respuestas iniciales de los estudiantes, y posteriormente se evaluaron las respuestas de los estudiantes después de que realizó la investigación para comprobar que sus respuestas iniciales fueran o no acertadas. En general, estos resultados evidenciaron que los estudiantes reconocieron al agua como factor imprescindible para el proceso, seguido de la luz solar, temperatura, oxígeno, tierra, dióxido de carbono y sales minerales. Después de la investigación, los estudiantes ya no consideraron factores necesarios la luz solar, dióxido de carbono y sales minerales, y aumentó la cantidad de estudiantes que consideran la temperatura como factor necesario para el proceso.

De igual manera, en 2016, Ruíz y Zapata realizaron un trabajo de investigación en el cual caracterizan los modelos iniciales de dos estudiantes a partir del proceso de germinación teniendo en cuenta los distintos factores que

conforman un ecosistema que intervienen para la ocurrencia de este proceso. Los estudiantes identificaron únicamente como componentes abióticos necesarios para la germinación el agua y la temperatura y como componentes bióticos la semilla.

Normalmente, en la enseñanza de las ciencias, los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas permiten relevar en los modelos de los estudiantes la identificación de los componentes bióticos y abióticos involucrados. Sin embargo, hay poca información referente a la caracterización de modelos que resalten *las interacciones entre estos componentes bióticos y abióticos*, y los efectos que tienen estas interacciones.

Este trabajo de investigación buscó resaltar la *importancia de las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que conforman un ecosistema*. Para ello, se realizó una secuencia didáctica que promoviera la modelización de componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas mediante la observación experimental de las interacciones entre componentes bióticos (semillas y plantas) y componentes abióticos (agua, tierra, luz solar) como estrategia central, haciendo uso de fenómenos fácilmente observables para los estudiantes durante los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Esta estrategia fue diseñada para que los estudiantes dedujeran los efectos de los factores abióticos sobre dos ejemplos claros de factores bióticos: semillas y plantas. El objetivo fue reconstruir las interacciones que ocurren en los ecosistemas de manera general, identificando los distintos componentes bióticos y abióticos involucrados en dichos procesos específicos, así como las interacciones que se generan entre ellos y las transformaciones a partir de estas interacciones. Por ejemplo, la identificación de los componentes bióticos: semilla y plantas, y de los componentes abióticos: agua, luz y tierra. Con los cuales, los estudiantes pudieron observar de primera mano las interacciones que ocurren entre la semilla, la tierra y el agua, por ejemplo, provocando que la semilla se hidrate, se “hinche” y suceda el proceso de germinación. Al experimentar con distintas

condiciones relacionadas con la presencia de los componentes, los estudiantes podrán generar hipótesis de lo que pudiera ocurrir si no estuviera involucrado alguno de los componentes mencionados.

6.2 Ideas iniciales de los estudiantes sobre el modelo: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en un ecosistema

En 2010, Sánchez y Pontes estudiaron algunas concepciones de los estudiantes, revisadas por varios autores (Barrabín y Grau, 1996; Rojero, 1999; Bermúdez y Lía, 2008; González y Marone, 2001; Charrier, et al., 2006) sobre las ideas iniciales de los estudiantes referentes a los ecosistemas, sus componentes y la interacción entre estos componentes, entre otras variables. De acuerdo con estos autores, en la definición de ecología, que es la rama de la biología que estudia las interacciones entre los organismos y su entorno, es fundamental comprender los conceptos relacionados con los ecosistemas que son las unidades básicas en las que se manifiestan estas interacciones. Rescatando, que, a pesar de incluirse el modelo de ecosistema dentro de los currículos de nivel Secundaria, las bases esenciales de este concepto no se fijan adecuadamente en los estudiantes. De tal forma que, el aprendizaje del concepto de interacción es, frecuentemente, incompleto y propenso a entenderse de manera equivocada. Rojero (1999) indica que muchos estudiantes tienen un tipo de pensamiento en el que apenas se percibe la organización de los ecosistemas y las interacciones entre factores bióticos y abióticos.

Los estudiantes de primaria desarrollan explicaciones simples sobre las conexiones causales biológicas, en las que deducen interacciones entre componentes de un ecosistema basándose en la evidencia que obtienen mediante observaciones y experiencias. (Zangori et al, 2020). Por su parte, Bell-Basca, et al., (2000) señalan que las dificultades que tienen los estudiantes para comprender los conceptos relacionados con el ecosistema es su visión simple de la causalidad en la naturaleza que se manifiesta en las interrelaciones que existen en los ecosistemas. Los autores resaltan que comprender y razonar eficazmente sobre los ecosistemas implica comprender diferentes patrones causales. Siendo ideales aquellos razonamientos en los cuales se piense en los ecosistemas como sistemas que incluyen patrones

causales domino e interactivos, es decir, relacionales y cíclicos. Sin embargo, comúnmente los estudiantes, al intentar comprender y explicar las relaciones que existen en los ecosistemas, proponen una visión lineal simple, y normalmente, hay una causa y un efecto. Por lo tanto, la visión corresponde a una relación unidireccional y directa. Además, suelen razonar localmente y pasan por alto el panorama general (Bell-Basca, et al., 2000).

En cuanto a los estudiantes de secundaria, tienen una percepción similar de las interacciones entre los componentes del ecosistema, ya que resulta ser un concepto también complejo de comprender. Los estudiantes a menudo pasan por alto las relaciones entre los seres vivos y su entorno. Además, estas interacciones son entendidas generalmente de manera unidireccional, considerando que el entorno influye en los seres vivos, pero no al contrario (García-Ulloa y Bugallo-Rodríguez, 2021).

Compartiendo estos hallazgos, Hogan y Thomas (2001) señalaron que los estudiantes tienden a comprender las interacciones en los ecosistemas de manera reduccionista y unidimensional. En su estudio, encontraron que los alumnos de secundaria frecuentemente representan las relaciones ecológicas como lineales y deterministas, en las que el medio ambiente afecta a los organismos, pero los organismos no tienen un impacto significativo en su entorno.

Reconociendo las dificultades que presentan los estudiantes para comprender conceptos complejos como los relacionados con los ecosistemas, en esta investigación se propuso abordar el modelo de componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas con un enfoque de modelización. Buscando lograr una progresión en el aprendizaje de los estudiantes que resalte la importancia de las interacciones entre los componentes presentes en un ecosistema.

El modelo científico escolar: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas, y el proceso de modelización de los estudiantes

En este proyecto de investigación se aplicó la propuesta de etapas en el proceso de aprendizaje de Sanmartí (1997), para diseñar una secuencia didáctica. La secuencia didáctica incluyó las cuatro etapas de diseño de secuencias didácticas propuestas por Sanmartí (1997) para la modelización del **modelo científico escolar** *componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas*. Este modelo científico escolar es comúnmente considerado como un modelo complejo que es abordado generalmente de manera abstracta en el aula. Por lo que se diseñó una secuencia didáctica que permitiera reconstruir el modelo mediante actividades científicas escolares en función de los aspectos específicos del modelo científico permitiéndole a los estudiantes representar sus modelos de manera simple y que, a su vez, consolidara la visión compleja del modelo científico escolar.

7.1 Modelo científico escolar: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.

Los organismos interactúan con su medio ambiente en el contexto del ecosistema (Smith y Smith, 2007, p.4). El ecosistema se define como aquel sistema formado por componentes abióticos (seres inertes) y componentes bióticos (seres vivos) en el que se producen multitud de complejas interacciones entre todos sus componentes. Los componentes abióticos incluyen la radiación solar, gases, los nutrientes del suelo y el agua.

Los seres vivos interactúan con su medio ambiente en muchos niveles. Las condiciones físicas que lo rodean, como la temperatura ambiente, la humedad y la intensidad de la luz, influyen en los procesos fisiológicos básicos que son cruciales para la supervivencia y el crecimiento. Los seres vivos deben

procurar adquirir los recursos esenciales del medio ambiente que los rodea (Smith y Smith, 2007, p.4).

“No hay ecosistema si no existe ningún tipo de interacción de los seres vivos entre sí, de estos con los componentes abióticos, así como de los componentes abióticos entre sí. Por tanto, el concepto de interacción es el que genera dinamismo en el ecosistema y el que permite el flujo de materia y energía en el mismo, de aquí, su crucial importancia” (Sánchez y Pontes, 2010).

7.2 Proceso de construcción del Modelo Científico Escolar

Para guiar la construcción de modelos de los estudiantes que progresaron hacia el modelo científico escolar, se diseñó una secuencia de actividades que incluyó la elaboración de textos, dibujos, mapas conceptuales, respuesta a cuestionarios, y una serie de experimentos. Los experimentos estuvieron enfocados en reconocer y valorar interacciones específicas presentes en los ecosistemas, esto a manera de reconstrucción del modelo científico, abordando específicamente los aspectos de interés mediante actividades científicas escolares. De tal forma, se partió de fenómenos fácilmente observables como el proceso de germinación de semillas y crecimiento de plantas. Así como la lectura de noticias y estudio de caso aplicado al contexto de los estudiantes se buscó que ellos observaran y experimentaran con distintos componentes abióticos como el agua, la luz del sol y la tierra, y dos componentes abióticos: semillas y plantas, para reconocer la importancia y cualidad sistémica de algunas de las interacciones presentes en los ecosistemas.

Para analizar la progresión en los conocimientos de los estudiantes, se caracterizaron y evaluaron las diferencias entre sus modelos construidos y expresados mediante representaciones textuales y gráficas en distintos momentos respecto al modelo científico escolar (ver figura 3).

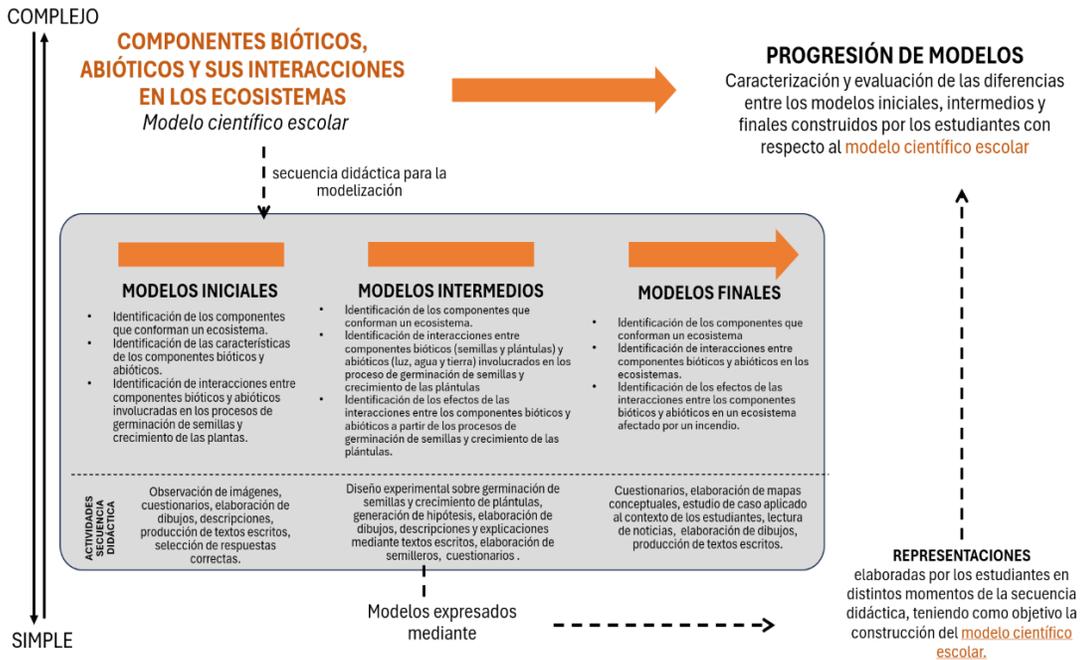


Figura 3. Proceso de modelización. Proceso al que hace referencia este proyecto de investigación.

Para el diseño experimental, los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas se emplearon como estrategia educativa que facilita la comprensión del modelo científico escolar. Estos procesos conjugaron la teoría con la práctica dentro del aula. De manera práctica, brindó la oportunidad de describir y explicar un fenómeno a través de actividades que involucraron la experimentación, indagación, generación de hipótesis y observación, entre otras actividades relacionadas con la ciencia. Por otro lado, el contenido teórico de estos procesos tuvo una relación estrecha que pudo asimilarse con aspectos del modelo científico escolar. Dando cuenta que estos procesos nos permitieron identificar la presencia e importancia de distintos componentes bióticos y abióticos dentro de su ecosistema, así como la influencia de estos componentes y la ocurrencia de interacciones entre los componentes bióticos y abióticos en distintas etapas de estos procesos.

Se propuso la identificación de interacciones específicas elegidas entre las múltiples y complejas interacciones presentes en los ecosistemas (figura 4a). Posteriormente, se utilizaron ejemplos específicos de componentes bióticos (semillas y plantas) y abióticos (de agua, luz solar y tierra) que le permitieran

observar y experimentar con algunas de estas interacciones (figura 4b). Los estudiantes experimentaron con distintas semillas previamente seleccionadas de acuerdo con su temporalidad de siembra, sembrándolas bajo distintas condiciones de agua, luz solar y tierra y observando su proceso de germinación y crecimiento. Para la siembra de las semillas, se hizo uso de distintos tipos de tierra: tierra negra y tierra del patio de la escuela, así como también se sembraron las semillas en distintas condiciones de agua y luz: con y sin agua, con presencia y sin presencia de luz. Esta propuesta buscó que los estudiantes reconocieran la importancia de cada uno de los componentes, así como las interacciones que existen entre los mismos. Con este diseño experimental, los estudiantes lograron reconocer distintas interacciones, principalmente entre componentes bióticos (semilla y planta) y distintos componentes abióticos (agua, luz solar y tierra), por ejemplo, la semilla con el agua y el suelo o la planta con la luz solar, el agua, el suelo y el aire. También, se reflejan interacciones específicas entre componentes abióticos entre sí, por ejemplo, el agua con la tierra. Esta propuesta tiene el objetivo de motivar una actitud responsable e interesada hacia los componentes bióticos y abióticos presentes en el medio ambiente.

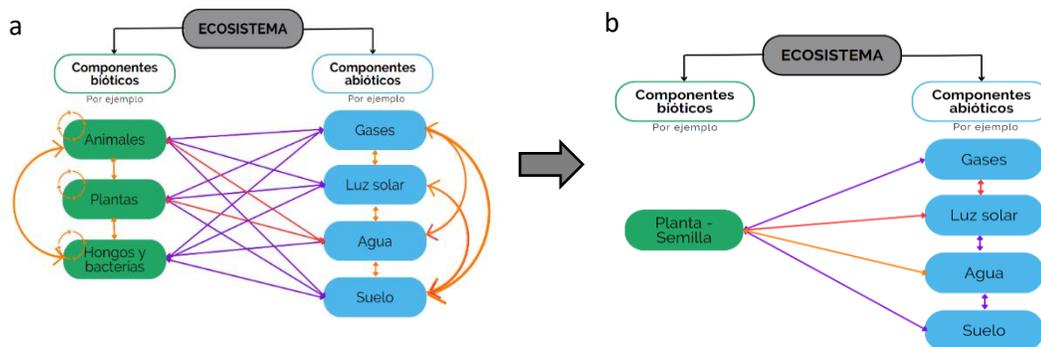


Figura 4.

Esquema de interacciones dentro de un ecosistema. En la figura 4a se muestra un esquema simplificado de las diversas interacciones presentes en los ecosistemas y en la figura 4b se muestra un esquema de las interacciones específicas entre componentes bióticos y abióticos particulares.

7.3 Exploración de las interacciones entre componentes bióticos y abióticos durante los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas

La germinación de semillas y el crecimiento de las plantas son fenómenos que ocurren dentro de los ecosistemas, los cuales tienen un valor ecológico fundamental, además de económico, recreativo e incluso estético. Estos procesos *dependen de una serie de interacciones* que suceden entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema. Más específicamente entre la semilla, el agua, los nutrientes del suelo, la luz solar, las plantas y otros factores del entorno como el aire y la temperatura.

Para la modelización en el aula de los componentes de los ecosistemas y sus interacciones, se proponen los fenómenos de germinación de semillas y el crecimiento de las plantas debido a su accesibilidad, costo y control de variables. En otras palabras, las semillas y plantas son fáciles de obtener en cualquier época del año y se pueden cultivar en diversos entornos sin necesidad de grandes espacios. Además, las semillas y materiales necesarios para el cultivo son económicos y reutilizables, por ejemplo, en el caso de este estudio se reutilizaron charolas plásticas de huevo como semilleros. Por otro lado, los factores como la luz solar y el agua se pueden controlar fácilmente, aunado a esto, el crecimiento de las plantas es visible, facilitando la observación de cambios y resultados.

La germinación es un proceso que evidencia la interacción del factor biótico (semilla) con componentes abióticos. Este proceso es necesario para que una semilla se desarrolle hasta convertirse en una nueva planta. El proceso inicia con la interacción de la semilla con agua (factor abiótico), donde la absorción de agua por la semilla seca (imbibición) reactiva la actividad metabólica y termina cuando una parte de esta (eje embrionario o radícula) atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) (Matilla, 2008, p.15) pasando de un metabolismo preferentemente anaerobio a otro típicamente aerobio.

El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos de la semilla como externos de su entorno. Algunos de los factores externos que regulan el proceso son la disponibilidad de agua, temperatura, composición del sustrato del suelo y la luz (Suárez y Melgarejo, 2010, p.14). Por ejemplo, el agua es imprescindible para el proceso de germinación. Tanto su falta como su exceso pueden tener efectos adversos en este proceso, llegando en casos extremos a impedir la germinación o, al menos, a reducir significativamente su tasa de éxito (Villamil y García, 1998)

La etapa de la emergencia marca el fin de la germinación y el comienzo del crecimiento de la plántula (Villamil y García, 1998). Durante estas primeras etapas del desarrollo de la planta, la plántula es aún dependiente de las reservas de la semilla, las cuales son indispensables para su nacimiento. Sin embargo, esta dependencia desaparece conforme la planta interactúa con la tierra (factor abiótico), convirtiéndose en un ser dependiente de sus nutrientes. Hasta que la planta se convierte por completo en un organismo autótrofo, es capaz de realizar la fotosíntesis. Este proceso ocurre y se mantiene gracias a su interacción con factores abióticos, asegurándose de su supervivencia (Villamil y García, 1998), como la absorción de agua, dióxido de carbono, luz solar y nutrientes minerales.

Metodología

En este proyecto se empleó una metodología cualitativa interpretativa que permite investigar cómo es la progresión de modelos construidos por estudiantes del modelo científico escolar: componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas. Analizando y evaluando las representaciones que expresan los modelos construidos por los estudiantes en distintos momentos (modelo inicial, modelo intermedio y modelo final) de una secuencia didáctica diseñada e implementada para la modelización desde un enfoque de progresión de modelos.

8.1 Contexto y participantes

Para fines de este proyecto de investigación, se diseñó y aplicó una secuencia didáctica a un grupo de 16 estudiantes de primer grado de secundaria, de entre 12 y 13 años, en la Escuela Secundaria Técnica No. 14, la cual se encuentra en la capital de la ciudad de San Luis Potosí. Las sesiones de la secuencia se cubrieron e implementaron por parte de la tesista investigadora durante las horas clase de la asignatura de Biología, las cuales, fueron asignadas por las autoridades correspondientes de la institución.

Como diagnóstico del grupo es importante resaltar que las estrategias de enseñanza manejadas durante la asignatura de Biología eran en su totalidad teóricas, tendiendo a una enseñanza de repetir y memorizar contenidos. Así como también, el grupo presentaba significativas dificultades de conducta e inasistencia.

Además, es necesario señalar que distintas variables impactaron durante la aplicación de la secuencia, generando una diferencia entre la secuencia diseñada y planeada inicialmente con la secuencia realmente implementada. En primer lugar, se planeó comenzar con la aplicación de la secuencia a principios del mes de junio, sin embargo, por cuestiones de cumplir con el contenido del currículo, el profesor de grupo cedió la oportunidad de implementación a finales del mes de junio. Al ser el periodo final del ciclo escolar, muchas actividades ajenas a la asignatura de biología, pero propias

de la institución, impactaron en la asistencia de los estudiantes en las últimas actividades de la secuencia. Aunado a esto, durante el mes de julio el país vivió una ola de calor intensa, por la cual, el gobierno del Estado de San Luis Potosí decidió finalizar el ciclo escolar dos semanas antes de lo planeado.

Por lo anterior, la secuencia didáctica que se diseñó y planeo inicialmente fue adecuada a los tiempos y necesidades del proyecto. La secuencia estaba planeada para implementarse en 12 sesiones de 45 minutos, distribuidas a lo largo de siete semanas. Sin embargo, la secuencia didáctica realmente se implementó en siete sesiones de 45 minutos cada una, a lo largo de cuatro semanas. La secuencia inicial estaba compuesta de nueve actividades, la cual se ajustó a ocho actividades. De estas ocho actividades, la actividad número 5 no se implementó, por lo que únicamente se aplicaron siete actividades (anexo 1).

El cambio entre la secuencia diseñada y la aplicada realmente impactó en el alcance de la secuencia didáctica con relación a las interacciones que se planearon abordar. Es decir, la secuencia se planeó para observar y experimentar con interacciones entre distintos componentes bióticos (insectos y distintas especies de plantas) y estos a su vez con componentes abióticos, en el contexto de un huerto escolar que sería visto como ecosistema. Sin embargo, al limitar el tiempo y la cantidad de sesiones, el alcance fue únicamente la experimentación y observación de interacciones entre la semilla y la planta con distintos componentes abióticos como el agua, la tierra y la luz solar.

8.2 Secuencia didáctica

8.2.1. Diseño de la secuencia didáctica

La secuencia se compone de cuatro tipos de actividades de acuerdo con la propuesta de *Etapas de aprendizaje* propuesto por Neus Sanmartí (1997): actividades de exploración, actividades de introducción de nuevas ideas y conceptos, actividades de estructuración del conocimiento y actividades de aplicación.

Con la finalidad de ir de lo complejo a lo simple y regresar a lo complejo, la secuencia original incluía la revisión de las ideas iniciales de los estudiantes respecto al modelo científico que es complejo, tomando como referencia cualquier ecosistema que los estudiantes lograran identificar. Posteriormente, se buscó introducir conceptos e ideas que mediante fenómenos específicos que fueran fácilmente observables con el fin de que los estudiantes pudieran construir modelos más complejos y afines con el modelo científico escolar. Los fenómenos sugeridos fueron la germinación de semillas, el crecimiento de las plantas y el trasplante de estas en el contexto de un huerto escolar. Con estos fenómenos se buscaba reconocer distintas y complejas interacciones entre componentes bióticos y abióticos, pero también entre componentes bióticos entre sí y abióticos entre sí. Sin embargo, por los motivos antes expuestos, la secuencia didáctica se logró implementar como a continuación se relata.

La secuencia didáctica constó de siete sesiones con una duración de 45 minutos por sesión, repartidas a lo largo de cuatro semanas. Se realizaron distintas actividades en cada una de las sesiones en las que se aplicaron diferentes prácticas educativas, lo que permitió en distintos momentos la comunicación entre los estudiantes y la profesora.

Las primeras sesiones de la secuencia didáctica (sesiones 1 Y 2) se diseñaron para abordar el modelo científico escolar de manera general y compleja con respecto a cualquier ecosistema. También, se comenzó a analizar las interacciones específicas que ocurren en los procesos de

germinación de semillas y crecimiento de las plantas, mientras que las sesiones intermedias (sesiones 3, 4 y 6) fueron diseñadas para abordar el modelo científico escolar específicamente a partir de los fenómenos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

En las últimas sesiones (7 y 8), se regresó a un diseño general que les permite a los estudiantes aplicar los conocimientos construidos, dimensionados en un proceso específico y delimitado, a un panorama general y complejo. Es decir, la secuencia didáctica va de lo complejo, a lo simple (haciendo uso de fenómenos fácilmente observables) para volver a lo complejo (general). Este diseño permite en un inicio **rescatar** las ideas iniciales de los estudiantes con respecto al modelo científico escolar abordando las interacciones entre componentes bióticos y abióticos de cualquier ecosistema propuesto por cada uno de los estudiantes de manera general. Para posteriormente y a la par de la etapa de introducción de nuevas ideas, abordar el modelo científico escolar específicamente mediante fenómenos con los que los estudiantes pueden interactuar. Finalmente, en las etapas de estructuración y aplicación se busca que los estudiantes hagan uso de los conocimientos de manera general, construyendo modelos complejos para poder aplicarlos a su contexto.

La sesión uno y dos proponen *actividades de exploración*, orientadas a promover que los estudiantes expresaran sus ideas iniciales acerca de la identificación de los distintos componentes de un ecosistema (bióticos y abióticos) y sus funciones, involucrando en menor medida los fenómenos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas y las interacciones de los componentes de los ecosistemas presentes en estos *fenómenos*. Así como también dentro de los alcances metacognitivos, se promovió que reconocieran las características de una explicación.

Las sesiones tres y cuatro fueron orientadas a la *introducción de nuevos conceptos* que buscaron complejizar y complementar las ideas iniciales de los estudiantes. Estas sesiones estuvieron aplicadas a partir de los fenómenos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. En la sesión tres, se

buscó que los estudiantes expresaran sus ideas respecto a la pregunta “¿cómo y de dónde nacen las plantas?”, orientándolos a reconocer las interacciones presentes en el proceso de germinación, identificando el rol e importancia de cada uno de estos componentes para el proceso de germinación y crecimiento de las plantas, elaborando explicaciones y dibujos del proceso de estos fenómenos. En la sesión cuatro, se realizaron actividades experimentales en donde los estudiantes llevaron a cabo experiencias individualmente y en equipo sobre el proceso de germinación de semillas y crecimiento de las plantas en distintas condiciones de suelo, luz y agua que les permitieron identificar la interacción e influencia de estos componentes a partir de los fenómenos observados. Esta actividad comenzó durante la sesión cuatro, pero la observación continuó a lo largo de dos semanas más.

La sesión cinco no se aplicó por cuestiones de tiempo, en esta sesión se planeó que los estudiantes trasplantaran las plántulas resultantes de la actividad cuatro de la secuencia en un espacio destinado para su huerto escolar y abordar práctica y teóricamente las distintas interacciones entre los componentes de ese ecosistema.

Las sesiones seis y siete, estuvieron compuestas por actividades de estructuración del conocimiento en donde se buscó que, por medio de mapas conceptuales, proyección de videos y generación de explicaciones los estudiantes estructuraran sus ideas de los fenómenos estudiados. Logrando identificar las interacciones presentes en los ecosistemas entre sus distintos componentes y valorar la importancia de estas y los componentes como tal.

Finalmente, en la sesión ocho, se propuso una actividad de aplicación en la que los estudiantes pudieran utilizar los modelos construidos, contextualizados en una nueva situación o problema de su comunidad. Específicamente, a partir de la noticia “el peor incendio de la historia de San Luis Potosí”. En la figura 5 se nombran las actividades propuestas para la secuencia didáctica.

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA LA SECUENCIA DIDÁCTICA

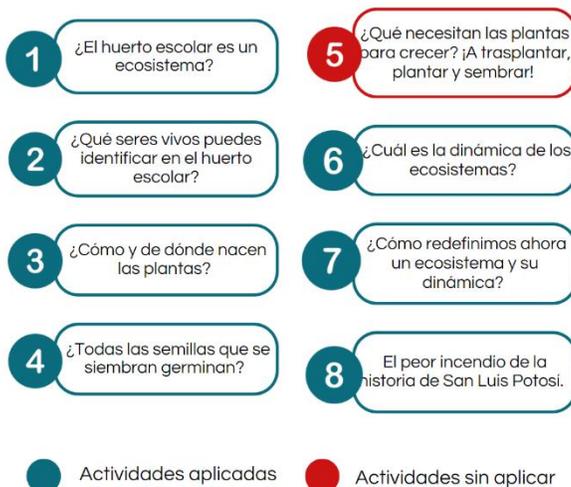


Figura 5.

Actividades propuestas para la secuencia didáctica. Con color verde se enmarcan las actividades que pudieron implementarse y con color rojo se enmarca la actividad que no fue posible implementar.

En la tabla 1 se describen cada una de las actividades de la secuencia didáctica.

Tabla 1.
Secuencia didáctica

SECUENCIA DIDÁCTICA	
<i>Interacciones entre componentes bióticos y abióticos en los ecosistemas.</i>	
Etapa de aprendizaje	Exploración
<p>Objetivos:</p> <p>Que los estudiantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Identifiquen los componentes de un ecosistema (factores bióticos y abióticos) b) Expresen sus ideas iniciales sobre los fenómenos: Germinación en semillas y crecimiento y nutrición en plantas y sobre las interacciones de los componentes de los ecosistemas involucrados en estos fenómenos. c) Reconozcan las características de una “explicación”. d) Reconozcan las características de los factores que componen el ecosistema huerto escolar. e) Realicen tareas de investigación bibliográfica sobre el calendario de siembra y germinación de semillas consultando distintas fuentes. 	

Sesión 1. ¿El huerto escolar es un ecosistema?

- *Síntesis:* Formulación del problema y recolección de los modelos iniciales.

Se les muestra a los alumnos un modelo de huerto escolar y la profesora les solicita que elaboren un dibujo de un ecosistema y sus componentes, señalando los distintos factores que lo componen. Se solicita que en el dibujo se representen distintos fenómenos del ecosistema, en específico la germinación de semillas y crecimiento de las plantas, expresando lo que entienden por cada uno de estos fenómenos y por un ecosistema como tal.

Además, se le solicita al estudiante que explique cómo cree que interactúan entre sí los distintos componentes que componen el ecosistema.

La primera parte de la actividad brinda preguntas guía para los estudiantes, por ejemplo: “¿Cuáles factores son necesarios para conformar un ecosistema?”, “¿Cuáles de los componentes del ecosistema crees que estén involucrados en el crecimiento y alimentación de las plantas? ¿Por qué?”.

Además, al inicio de la actividad se le explica al estudiante qué es y cómo se construye una explicación.

Sesión 2. ¿Cuántos seres vivos puedes identificar en el modelo huerto escolar?

El profesor motiva a los estudiantes a identificar de un listado de componentes del ecosistema, cuáles son bióticos y cuáles son abióticos.

Además, el estudiante deberá responder a las preguntas: “¿Cuáles son las características de los componentes bióticos?”, “¿Cuáles son las características de los componentes abióticos?”, “¿Cuáles son las funciones de los componentes bióticos en un ecosistema?”, “¿Crees que las semillas son seres vivos, por qué?”.

Para finalizar la actividad se les solicitan a los estudiantes como tarea la investigación de distintas fuentes sobre calendario de siembra y proceso de germinación de las semillas.

Etapa de aprendizaje

Introducción de nuevos conceptos e ideas

Que los estudiantes:

- a) Reconozcan las interacciones presentes en el ecosistema huerto escolar mediante el proceso de germinación.
- b) Identifiquen el rol e importancia para el proceso de germinación de cada factor biótico y abiótico.
- c) Desarrollen competencias de trabajo en equipo, comunicación, investigación de información de diferentes fuentes, experimentación y generación de hipótesis.
- d) Elaboren sus propios semilleros como medio de experimentación

Sesión 3. ¿Cómo y de dónde “nacen” las plantas?

El profesor pide a los estudiantes que describan cómo creen que es el proceso de germinación e identifiquen cuales factores presentes en un ecosistema

influyen en este proceso. Se motiva la participación activa de los estudiantes en todo momento a través del dialogo con el profesor y entre los estudiantes, así como con las preguntas guía.

Los estudiantes deberán dibujar y explicar el proceso de germinación.

Finalmente, el profesor explica el proceso de germinación e inicia la actividad práctica de elaboración de los semilleros y selección de semillas a sembrar de acuerdo al calendario de siembra, estas dos últimas actividades serán de utilidad en la siguiente sesión.

Sesión 4. ¿Todas las semillas que se siembran germinan?

- *Síntesis:* Experimentos de germinación con distintas condiciones de factores involucrados (agua, luz y suelo).

Los alumnos deberán preguntarse sobre las necesidades fisiológicas de la semilla, es decir, sobre las condiciones ambientales necesarias para que se desarrolle, tratan entonces de averiguar qué necesita la semilla para llegar a germinar. Además, deberán generar hipótesis sobre lo que se espera que ocurra con las semillas en los distintos experimentos.

Los alumnos formarán equipos de 3 a 4 personas. Cada equipo seleccionará una especie de semilla de acuerdo al calendario de siembra para realizar los experimentos. Cada semilla se sembrará en distintas condiciones de agua, suelo y luz. Por ejemplo, el equipo 1 sembrará semillas de girasol, en diferentes condiciones de agua (un experimento con agua y el otro sin agua). También en diferentes condiciones de luz (con y sin luz) y en distintas condiciones de suelo (con tierra negra o con tierra recolectada del patio de la escuela). Los estudiantes deberán anotar en una etiquetita el tipo y cantidad de semillas, la fecha, la hora y llevarán un registro diario de lo que observan para posteriormente comprobar las hipótesis.

Una vez transcurrido pocos días se podrá observar el éxito o no de la germinación y el profesor deberá motivar el debate entre los estudiantes de lo observado y los resultados.

Sesión 5. ¿Qué necesitan las plantas para crecer? ¡A trasplantar, plantar y sembrar!

Nota: Esta actividad no se implementó.

- *Síntesis:* Elaboración del huerto escolar por equipos.

Los alumnos deberán elaborar por equipos, un pequeño huerto escolar en donde puedan trasplantar sus semillas germinadas y otras especies compatibles de plantas. Es importante que los estudiantes identifiquen el huerto escolar como un ecosistema por lo que el profesor motiva este debate nuevamente para recordar lo revisado en actividades anteriores.

Se les solicita que investiguen los requerimientos de las plantas para su adecuado crecimiento y sobrevivencia.

Los alumnos deberán realizar el trasplante, plantación y siembra de plantas y semillas en el espacio asignado al huerto.

Una vez sembradas las semillas y trasplantadas las plantas deberán elaborar unas fichas de requerimientos de cada una de las plantas asignadas por equipo en donde indiquen los requerimientos de riego y luz.	
Etapa de aprendizaje	Estructuración
<p>Objetivos: <i>Que los estudiantes:</i></p> <p>a) Estructuren el contenido abordado y expliquen las interacciones presentes en los ecosistemas dimensionándolas en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas y de manera general en un ecosistema cualquiera.</p> <p>b) Identifiquen el rol e importancia para el proceso de germinación de semillas y crecimiento de las plantas de cada componente biótico y abiótico involucrado y de manera general en un ecosistema cualquiera.</p>	
<p>Sesión 6. ¿Cuál es la dinámica de nuestro ecosistema?</p> <p>Los estudiantes elaborarán un dibujo y explicación del proceso de la germinación de semillas y crecimiento de las plantas de acuerdo con lo observado y experimentado en las actividades anteriores. Intentarán explicar algunas de las distintas interacciones presentes en los ecosistemas, dimensionadas con los fenómenos de estudio, así como el rol y valor de cada uno de los componentes bióticos y abióticos involucrados en estos fenómenos.</p>	
<p>Sesión 7. ¿Cómo redefinimos ahora un ecosistema y su dinámica?</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Síntesis:</i> Estructuración de lo aprendido mediante mapas conceptuales. Dentro del aula, se les proyecta a los estudiantes el video “Los ecosistemas y sus componentes: Biología y Geología, 1° ESO” (https://www.youtube.com/watch?v=K2ywqbrd_F4) <p>Una vez revisado el video, el profesor motiva la discusión de ideas construidas y les solicita a los estudiantes que elaboren un mapa conceptual en donde el tema sean las distintas interacciones entre componentes bióticos y abióticos en los ecosistemas. Se les solicita que identifiquen y ejemplifiquen los factores bióticos y abióticos, así como las interacciones entre los mismos mediante distintos fenómenos. El profesor cuenta ya con un mapa conceptual para guiar la elaboración del mapa de los estudiantes.</p>	
Etapa de aprendizaje	Aplicación
<p>Objetivos: <i>Que los estudiantes:</i></p> <p>a) Apliquen el conocimiento construido a un problema local.</p> <p>b) Identifiquen el dinamismo de un ecosistema, así como los factores que lo componen.</p> <p>Valoren el impacto humano en los ecosistemas.</p>	

Sesión 8. El peor incendio de la historia de San Luis Potosí

- *Síntesis:* Lectura sobre una noticia acerca de un incendio ocurrido en San Luis Potosí, que afectó una gran cantidad de hectáreas de un área natural importante del estado.

En esta sesión los estudiantes analizarán un problema de aplicación, en el que puedan valorar las interacciones presentes en un ecosistema y qué ocurre con el ecosistema después de la ocurrencia de un incendio. Los estudiantes, a través de un dibujo y explicación, deberán relacionar los fenómenos estudiados durante la secuencia didáctica y la importancia de los ecosistemas, sus componentes e interacciones con el problema planteado ocurrido en su comunidad. Una vez elaborado el dibujo y la explicación deberán explicarlo al resto del grupo compartiendo ideas y comparando análisis.

8.3 Fundamentos teóricos de la propuesta metodológica

Este proyecto se llevó a cabo a partir del diseño e implementación de una secuencia didáctica en el marco de la modelización, integrando contenidos disciplinares de la Biología y empleando distintas actividades para la regulación en la construcción del modelo científico escolar componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas. Para evaluar la progresión de los modelos construidos por los estudiantes se caracterizaron las representaciones elaboradas por los estudiantes en distintos momentos de la secuencia didáctica, identificando tres momentos de análisis en el proceso de modelización mediante una estrategia de análisis cualitativo interpretativo conformado por categorías de evaluación.

8.3.1 Diseño de categorías

El diseño de categorías integró la caracterización de modelos escolares propuesta por Bahamonde y Gómez Galindo (2016) junto con tres criterios de evaluación de las representaciones de los estudiantes. Para la *caracterización de los modelos*, se determinaron *tres ideas claves estructurantes* de complejidad ascendente (Bahamonde y Gómez Galindo, 2016). Los *criterios de evaluación* de los modelos expresados por los estudiantes mediante representaciones fueron seleccionados por su relevancia para las ideas clave estructurantes y a partir de las dificultades que tienen los estudiantes, reconocidas en la literatura (Rojero, 1999; Bell-Basca, et al., 2000; Sánchez y Pontes, 2010), para comprender el modelo científico escolar elegido.

La integración de las ideas clave estructurantes y los criterios de evaluación resultó en siete categorías que permitieron evaluar la progresión de los modelos construidos por los estudiantes respecto a la identificación de componentes bióticos y abióticos presentes en un ecosistema, sus interacciones y los efectos que estas interacciones provocan. Se evaluó que los modelos avanzaran a ser más precisos, estructurados y que propusieran una visión sistémica de los ecosistemas.

Las tres *ideas claves estructurantes* de complejidad ascendente (Bahamonde y Gómez Galindo, 2016) del modelo científico escolar se definieron de la siguiente manera:

- a) **Presencia (IP)**. Los ecosistemas están conformados por factores bióticos y abióticos.
- b) **Interacción (II)**. En los ecosistemas ocurren múltiples y distintas interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos.
- c) **Transformación (IT)**. Las múltiples y distintas interacciones entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema provocan cambios físicos en los componentes bióticos y/o abióticos.

Una vez establecidas las ideas clave estructurantes, se definieron tres *criterios para el análisis* de los modelos construidos por los estudiantes:

- a) **Precisión (CP)**. Evalúa el uso del léxico aceptable para la comunidad científica, que describa propiedades, características o nociones del fenómeno.
- b) **Estructura (CE)**. Se refiere a la disposición y las relaciones entre los componentes de un sistema.
- c) **Aproximación sistémica (CA)**. Esta aproximación reconoce que los sistemas están compuestos por componentes interrelacionados que interactúan entre sí y que el comportamiento del sistema en su conjunto no puede entenderse simplemente analizando sus partes por separado.

Se integraron estos criterios de análisis con las ideas clave estructurantes para generar las siete categorías de evaluación (ver tabla 2).

Tabla 2.
Categorías propuestas para la evaluación de la progresión de los modelos.

CRITERIOS	CATEGORÍAS		
	PRESENCIA	INTERACCIÓN	TRANSFORMACIÓN
PRECISIÓN	Uso de léxico adecuado para describir propiedades, características o nociones de los factores que conforman un ecosistema.	-	Uso adecuado de léxico para describir propiedades, características o nociones de la transformación identificada como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos.
ESTRUCTURA	El ecosistema está conformado por una diversidad de componentes bióticos y abióticos.	En los ecosistemas ocurren múltiples y distintas interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos.	En los ecosistemas ocurren múltiples y distintos cambios en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema.
APROXIMACIÓN SISTÉMICA	-	El estudiante reconoce interacciones que sugieren una visión sistémica, es decir, entre un factor biótico o abiótico y tres o más factores bióticos o abióticos.	El estudiante reconoce cambios físicos o químicos en uno o más factores bióticos o abióticos, a partir de las interacciones entre estos, identificando sus causas desde una perspectiva multicausal.

A partir de las categorías propuestas, se evaluaron los modelos construidos por los estudiantes, expresados mediante representaciones que elaboraron durante tres momentos de la aplicación de la secuencia didáctica. Para evaluar los modelos conforme a las categorías antes mencionadas, se propusieron

tres niveles de cumplimiento (NC). Los parámetros para establecer los niveles de cumplimiento se establecieron a partir de la revisión de los datos obtenidos de las representaciones elaboradas por los estudiantes.

El criterio de análisis *precisión* se integró con las ideas clave estructurantes de presencia y transformación. Se evaluó que el estudiante: 1) reconociera que el ecosistema está conformado por dos tipos de componentes: bióticos y abióticos y los clasifique haciendo uso textual de estos términos y 2) describiera propiedades, características o nociones de las transformaciones identificadas como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos en los ecosistemas. Para la evaluación de estas categorías se consideraron tres niveles de cumplimiento (NC): Nivel carente, nivel parcial y nivel adecuado (ver tabla 3).

Tabla 3.
Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de precisión

PRECISIÓN			
Idea	Descriptor de la categoría	Nivel de cumplimiento	Descripción
PRESENCIA	Uso de léxico adecuado para describir propiedades, características o nociones de los factores que conforman un ecosistema.	Nivel carente	El/la estudiante no reconoce la idea de que el ecosistema está conformado por dos distintos tipos de componentes: bióticos y abióticos.
		Nivel parcial	El/la estudiante reconoce la idea de que el ecosistema está conformado por dos tipos distintos de componentes, sin hacer uso de los términos correctos para nombrarlos (“componentes bióticos y abióticos”).
		Nivel adecuado	El/la estudiante reconoce que el ecosistema está conformado por dos tipos de componentes: bióticos y abióticos. Y los clasifica haciendo uso textual de estos términos.
TRANSFORMACIÓN	Uso adecuado de léxico para describir propiedades, características o nociones de la transformación identificada como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos.	Nivel carente	No reconoce transformaciones o las reconoce, pero no describe ni conceptualiza adecuadamente el proceso que lleva a la transformación
		Nivel parcial	Describe parcialmente el proceso que lleva a la transformación, sin embargo, no usa términos adecuados para describir la transformación.
		Nivel adecuado	Reconoce transformaciones, describe el proceso y hace uso de los términos textuales adecuados para describirlas.

El criterio de análisis *estructura* se integró con las ideas clave estructurantes de *presencia, interacción y transformación*. Se evaluó que el estudiante reconociera que: 1) el ecosistema está conformado por una diversidad de componentes bióticos y abióticos, 2) en los ecosistemas ocurren múltiples y distintas interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos, y 3) en los ecosistemas ocurren múltiples y distintos cambios en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema. Para la evaluación de estas categorías se consideraron tres niveles de cumplimiento (NC): Nivel carente, nivel parcial y nivel adecuado (ver tabla 4).

Tabla 4.
Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de estructura

ESTRUCTURA				
Idea	Descriptor de la categoría	Modelo evaluado	Nivel de cumplimiento	Descripción
PRESENCIA	El ecosistema está conformado por una diversidad de componentes bióticos y abióticos.	Modelo inicial y final	Nivel carente	El estudiante reconoce hasta dos factores bióticos y dos factores abióticos.
			Nivel parcial	El estudiante reconoce al menos tres factores bióticos y tres factores abióticos.
			Nivel adecuado	El estudiante reconoce cuatro o más factores bióticos y cuatro o más factores abióticos.
		Modelo intermedio	Nivel carente	El estudiante reconoce al menos un factor biótico y dos factores abióticos.
			Nivel parcial	El estudiante reconoce dos factores bióticos y tres factores abióticos.
			Nivel adecuado	El estudiante reconoce dos factores bióticos y más de tres factores abióticos.
INTERACCIÓN	En los ecosistemas ocurren múltiples y distintas interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos.	Modelo inicial y final	Nivel carente	El estudiante reconoce de una a tres interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.
			Nivel parcial	El estudiante reconoce de cuatro a seis interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.

		Modelo intermedio	Nivel adecuado	El estudiante reconoce más de seis interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.
			Nivel carente	El estudiante reconoce una o dos interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.
			Nivel parcial	El estudiante reconoce de tres a cuatro interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.
			Nivel adecuado	El estudiante reconoce más de cuatro interacciones entre distintos componentes bióticos y/o abióticos.
TRANSFORMACIÓN	En los ecosistemas ocurren múltiples y distintos cambios en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema.	Modelo inicial intermedio y final	Nivel carente	No reconoce transformaciones
			Nivel parcial	Reconoce al menos una transformación
			Nivel adecuado	Reconoce dos o más transformaciones

El criterio de análisis *aproximación sistémica* se integró con las ideas clave estructurantes de *interacción y transformación*. Se evaluó que el estudiante reconociera: 1) la característica sistémica de un ecosistema mediante la identificación de interacciones entre más de 2 componentes que conforman el ecosistema, 2) cambios físicos o químicos en uno o más factores bióticos o abióticos, a partir de las interacciones entre estos, identificando sus causas desde una visión multicausal. Para la evaluación de estas categorías se consideraron tres niveles de cumplimiento (NC): Nivel carente, nivel parcial y nivel adecuado (ver tabla 5).

Tabla 5.

Niveles de cumplimiento establecidos para el criterio de aproximación sistémica

APROXIMACIÓN SISTÉMICA			
Idea	Descriptor de la categoría	Nivel de cumplimiento	Descripción
INTERACCIÓN	El estudiante reconoce la característica sistémica de un ecosistema mediante interacciones entre más de 3 componentes.	Nivel carente	El estudiante reconoce interacciones que sugiere una visión lineal, entre un factor biótico o abiótico y otro factor biótico o abiótico. Interacción uno a uno.
		Nivel parcial	El estudiante reconoce interacciones que sugiere una visión compleja, entre un factor biótico o abiótico y dos factores bióticos o abióticos. Interacción entre tres factores, interacción compleja.
		Nivel adecuado	El estudiante reconoce interacciones que sugieren una visión sistémica, es decir, entre un factor biótico o abiótico y tres o más componentes bióticos o abióticos. Interacción entre cuatro factores o más, interacción sistémica.
TRANSFORMACIÓN	El estudiante reconoce cambios físicos o químicos en uno o más factores bióticos o abióticos, a partir de las interacciones entre estos, identificando sus causas desde una visión multicausal.	Nivel carente	No reconoce transformaciones o describe la existencia de una transformación sin mencionar las interacciones del proceso que la causan.
		Nivel parcial	Reconoce la presencia de al menos una transformación causada por una interacción lineal simple (entre dos componentes bióticos y/o abióticos).
		Nivel adecuado	Reconoce la presencia de al menos una transformación provocada de manera multicausal por una interacción compleja (entre más de dos componentes bióticos y/o abióticos).

8.3.2. Consideraciones para el análisis de los datos con relación al diseño de las categorías

Para la evaluación de los modelos fue necesario definir algunas consideraciones que permitieron la sistematización del análisis de los datos. Además de algunas decisiones tomadas debido a la naturaleza de los datos. Las consideraciones son las siguientes:

- 1) La idea clave estructurante de interacción no se evaluó con el criterio de precisión, debido a que el diseño del instrumento para obtener los datos (guías para los estudiantes) incluyó secciones e indicaciones que contenían el léxico necesario relacionado con las interacciones. Por lo tanto, al brindarle la información al estudiante, este omite los términos o descripciones necesarias para identificar la idea de interacción.
- 2) La idea clave estructurante de presencia no se evaluó con el criterio de aproximación sistémica, ya que, al ser la idea de menor complejidad, esta no implica que el estudiante tenga una visión sistémica de los factores. Se buscó que el estudiante reconociera que el ecosistema está conformado por componentes bióticos y abióticos, y que los ejemplificara.
- 3) Para la evaluación de la idea clave de presencia con base en el criterio de precisión, solamente se evaluaron los modelos iniciales y finales de los estudiantes. El modelo intermedio no se incluyó, ya que en este momento de análisis no se cuestionó a los estudiantes sobre el uso adecuado de los términos “componentes bióticos y abióticos”, tampoco se les indicó que clasificaran o describieran propiedades. Este momento de análisis se centró en la identificación de interacciones presentes en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas.
- 4) Para la categoría de estructura, los modelos intermedios construidos por los estudiantes para las ideas de presencia y transformación se evaluaron con base en niveles de cumplimiento distintos a los niveles de cumplimiento empleados para evaluar los modelos iniciales y finales.

Esta diferencia se fundamenta por el diseño original de la secuencia didáctica, la primera etapa de la secuencia se enfocó a una visión general abordando las interacciones presentes en los ecosistemas. En la etapa intermedia, las actividades estaban específicamente adecuadas a las interacciones presentes en los fenómenos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Finalmente, en la etapa final se integraron las ideas construidas a partir de los fenómenos específicos con las nuevas ideas, volviendo a una visión general. Por lo anterior, la diversidad de componentes, interacciones y transformaciones identificadas por los estudiantes se vio afectada por las actividades propuestas de la secuencia. Con base en la revisión de los datos para la idea de transformación, se identificó que la diversidad de transformaciones identificadas por los estudiantes fue igual en los tres momentos de análisis, por lo que se evaluó con los mismos niveles de cumplimiento.

8.4 Recolección y selección de datos

8.4.1 Muestra seleccionada para el análisis de datos

Respecto a la muestra seleccionada para el análisis de datos, inicialmente se aplicó la secuencia didáctica a 16 estudiantes, de los cuales, únicamente ocho estudiantes cuentan con producciones en los tres momentos de análisis. Esto por múltiples razones, entre ellas las inasistencias de los estudiantes a la escuela y participación de los estudiantes en actividades extracurriculares pero relacionadas con la institución. Por lo que, aunque el análisis se realizó en todas las representaciones disponibles, los resultados reportados en este trabajo corresponden a las producciones de los **ocho estudiantes** que realizaron las producciones en los tres momentos de análisis.

Para la organización de los datos, los ocho estudiantes de la muestra se codificaron con la letra "E" seguida de un número del uno al ocho (1 - 8) correspondiente a cada uno. Los distintos modelos de análisis también se codificaron. El código correspondiente para los modelos iniciales construidos por los estudiantes son las letras "MI", para los modelos intermedios "MIM" y para los modelos finales el código asignado es "MF". Así, por ejemplo, al evaluar el modelo final del estudiante seis de la muestra, se codificaría "E6MF".

8.4.2 Instrumento de recolección de datos

Para analizar los modelos elaborados y la generación de explicaciones, se diseñó una guía para los estudiantes que permitió la recolección de datos de manera organizada y uniforme (ver figura 6). La guía fue elaborada para cada una de las sesiones diseñadas para la secuencia didáctica. El formato de cada sesión estaba conformado, en general, por: el nombre del tema relacionado con el modelo científico escolar, número y nombre de la sesión, objetivos de aprendizaje, materiales a utilizar, introducción al tema, procedimiento de la sesión que incluía actividades planteadas mediante distintas actividades (ver tabla 6). Además, una sección “para reforzar ideas” que incluía un texto a manera de conclusión de la sesión y una sección “a considerar para la siguiente sesión” en donde se le informaba a los estudiantes si se requería material que traer desde casa o consultar información de manera independiente que sería útil para la siguiente sesión.

The figure shows three pages of a student guide titled "Ecosistemas" with the subtitle "Interacciones entre factores bióticos y abióticos".

- Page 1 (Left):** Titled "SESIÓN 2: ¿QUÉ SERES VIVOS PUEDES IDENTIFICAR EN EL HUERTO ESCOLAR?". It includes "Objetivos" (a) Reconocer las características de los factores que componen el ecosistema huerto escolar, (b) Reconocer las funciones de un ser vivo, (c) Identificar a las plantas como seres vivos, and (d) Realizar tareas de investigación biológica sobre el calendario de siembra y germinación de semillas consultando distintas fuentes. "Materiales" include Guía del estudiante, Cuaderno, Copes y tijeras, and Distintas fuentes de información (libro, revistas, internet). "Procedimiento" includes (a) Del listado de factores, identificar cuáles son factores bióticos y cuáles son abióticos. Escribir en el recuadro que considere correcto cada uno de estos factores. Below are two boxes: "ABIÓTICOS" (yellow) and "BIÓTICOS" (orange). Under ABIÓTICOS are: Agua, Temperatura, Seres humanos, Plantas, Suelo, Animales, Aire, Semillas, Luz del sol.
- Page 2 (Middle):** Titled "b) Investiga con tus compañeros y profesor las respuestas del inciso a) y responde las siguientes preguntas:". It contains four numbered questions: 1) ¿Cuáles son las características de los factores abióticos?, 2) ¿Cuáles son las características de los factores bióticos?, 3) ¿Cuáles son las funciones de los seres vivos en un ecosistema?, and 4) ¿Crees que los semillas son seres vivos? ¿Por qué?. Each question has a set of horizontal lines for writing.
- Page 3 (Right):** Titled "PARA REFORZAR O CONSTRUIR IDEAS:". It contains a text block defining an ecosystem as a system formed by biotic and abiotic factors that interact. It explains that abiotic factors are inanimate (light, water, temperature, etc.) and biotic factors are living organisms. It notes that living organisms constantly interact with their environment. It concludes that the relationship between biotic and abiotic factors in an ecosystem can be represented by multiple and multiple phenomena, such as germination, growth, and nutrition in seeds and plants. Below the text is a pink box titled "Investiga:" with the instruction: "Consulta en distintas fuentes información sobre el calendario de siembra y proceso de germinación de las semillas. Engloba la información en el cuaderno o imprime la información, ya que en la próxima sesión comentaremos lo investigado con tus compañeros."

Figura 6.

Instrumentos de evaluación empleados durante la secuencia didáctica. A lo largo de la secuencia didáctica se proporcionaron distintas guías a los estudiantes que fueron los instrumentos de análisis para la presente investigación. En ellas, los estudiantes debían realizar distintas representaciones escritas o dibujadas.

Tabla 6.
Actividades propuestas para la secuencia didáctica

SESIÓN	ACTIVIDADES PROPUESTAS
Sesión 1	Observación de imágenes, respuesta a cuestionarios, elaboración de dibujos, descripciones y producción de textos escritos explicativos.
Sesión 2	Clasificación de respuestas correctas y respuesta a cuestionarios.
Sesión 3	Investigación, discusión grupal, elaboración de conclusiones, descripción multimodal de fenómenos, elaboración de dibujos, textos descriptivos, uso de material didáctico (calendarios de siembra) y respuesta a cuestionarios.
Sesión 4	Elaboración de semilleros con material reciclado, actividades prácticas a partir del diseño experimental sobre germinación de semillas y crecimiento de plantas, generación de hipótesis, observación y registro, respuesta a cuestionarios.
Sesión 5	Actividades prácticas a partir del involucramiento con material designado para el “huerto escolar” (cajones elaborados con madera reciclada) y trasplantar plántulas, investigación, elaboración de tarjetas identificadoras, respuesta a cuestionarios. Nota. Esta actividad no se implementó.
Sesión 6	Elaboración de dibujos, explicaciones y descripción multimodal de fenómenos.
Sesión 7	Uso de recursos audiovisuales (vídeo), respuesta a cuestionarios, construcción de mapas conceptuales.
Sesión 8	Lectura de noticias locales, estudio de caso aplicado al contexto de los estudiantes, respuesta a cuestionarios, elaboración de dibujos y textos explicativos.

El instrumento fue diseñado para cada una de las actividades de todas las sesiones de la secuencia didáctica, sin embargo, no todas las actividades fueron seleccionadas como representaciones para el análisis y evaluación de los modelos construidos por los estudiantes.

8.4.3. Selección de datos para el análisis

Para la evaluación de la progresión de los modelos se tomaron en cuenta las representaciones de las estudiantes expresadas en tres momentos de análisis: modelos iniciales, modelos intermedios y modelos finales. Estos modelos fueron obtenidos a partir de distintas actividades realizadas a lo largo de la secuencia didáctica (ver figura 7). El *modelo inicial* se evaluó a partir de las representaciones realizadas por los estudiantes de las actividades a, b y d de la sesión uno de la secuencia didáctica (ver figuras 8a y 8b). Mientras, que el *modelo intermedio* se evaluó utilizando las representaciones elaboradas por los estudiantes de la actividad b de la sesión tres y la actividad a de la sesión seis de la secuencia didáctica (ver figuras 9a y 9b). Finalmente, el *modelo final* fue evaluado mediante las representaciones resultantes de las actividades b de la sesión seis, b y c de la sesión siete, y la actividad c de la sesión ocho de la secuencia didáctica (ver figuras 10a, 10b y 10c). Las respuestas a estas actividades fueron consideradas como complementarias para la construcción de los modelos de cada momento de análisis.

SECUENCIA DIDÁCTICA					
Etapa de aprendizaje	Exploración	Introducción de nuevas ideas	Estructuración		Aplicación
Sesión	1	3	6	7	8
Momento de análisis (modelo)	Inicial	Intermedio	Final		
Actividades	1-a) Observación 1-b) Cuestionario 1-d) Dibujo-explicación	3-b) Proceso detallado 6-a) Dibujo-explicación	6-b) Proceso detallado 7-b) Cuestionario 7-c) mapa conceptual 8-c) Dibujo-explicación		

Figura 7.

Relación entre las sesiones de la secuencia didáctica, actividades y los momentos de análisis. En la figura se muestra la relación entre las sesiones de la secuencia didáctica, la etapa de aprendizaje y las actividades seleccionadas para los modelos construidos en los distintos momentos de análisis. Evidenciando de cuáles sesiones se obtienen las representaciones útiles para el análisis y evaluación de la progresión de los modelos construidos por los estudiantes.

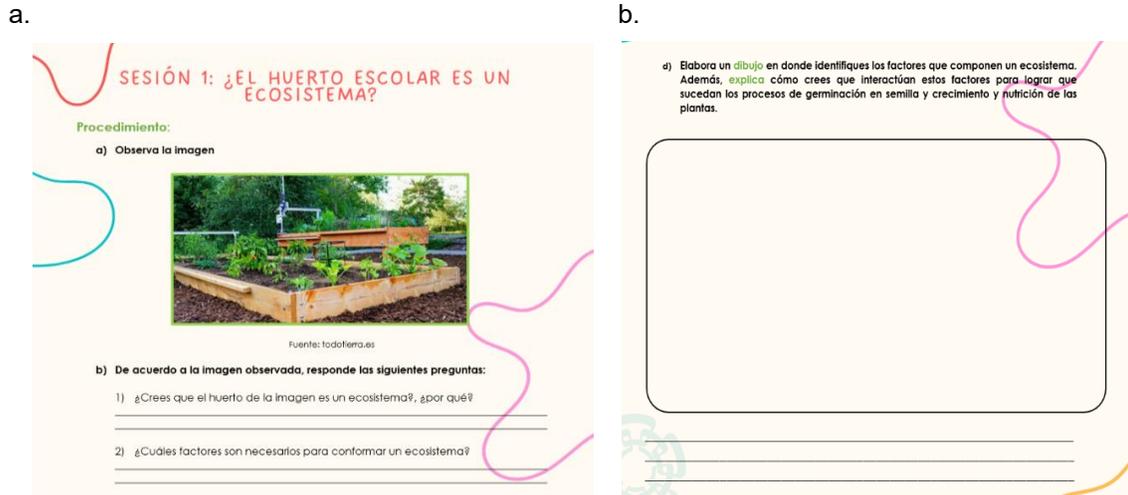


Figura 8.

Actividades consideradas para la evaluación de los modelos iniciales de los estudiantes. Las actividades iniciaron con la observación de la imagen de un huerto escolar. a. Se cuestionó a los estudiantes si lo que observaban en la imagen es un ecosistema, posteriormente se les solicitó que indicaran cómo está conformado un ecosistema y cuáles son los factores que lo componen.

b. Por último, se les pidió a los estudiantes que dibujaran un ecosistema que incluyera sus componentes. Además, dibujar y explicar cómo creen que esos factores interactúan en procesos cercanos a ellos como la germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Estas respuestas fueron consideradas como representaciones de los modelos iniciales construidos por los estudiantes (Figura 8b).

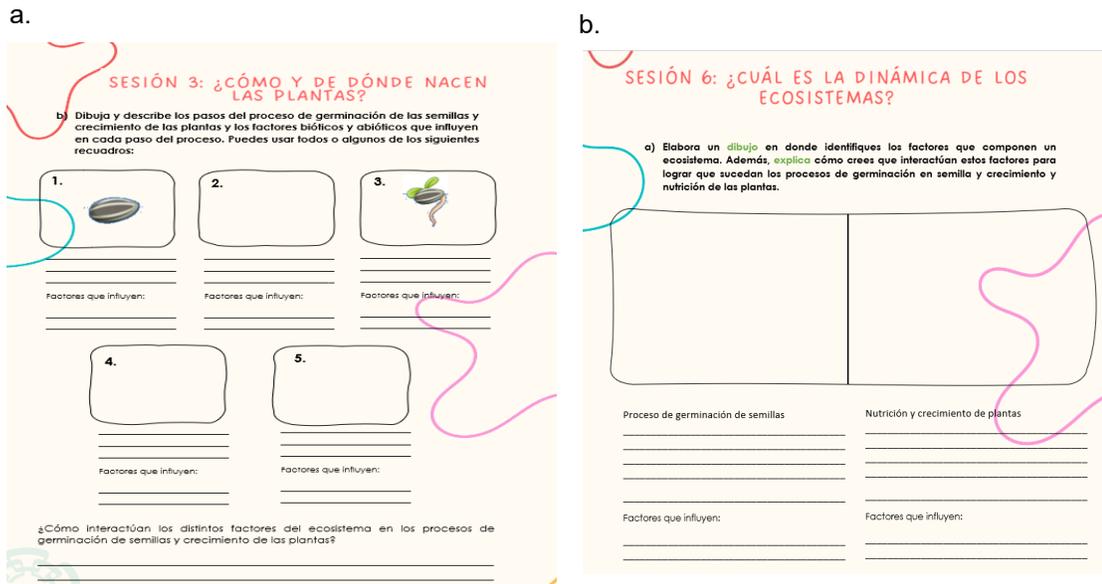


Figura 9.

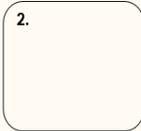
Actividades consideradas para la evaluación de los modelos intermedios de los estudiantes. a. Las actividades de las sesiones 3 y 6 estuvieron enfocadas a identificar los componentes del ecosistema involucrados en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. Así como las interacciones que ocurren entre estos componentes y los cambios que provocan estas interacciones.

b. En la sesión tres se les solicitó a los estudiantes que completaran con dibujos y texto, unos recuadros que representan las etapas de los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas. También, debían identificar los factores que influyen en cada etapa del proceso y cómo interactúan. En la sesión seis se les solicitó a los estudiantes que elaboraran un dibujo en donde representaran los componentes que forman parte de los ecosistemas y que además explicaran cómo participaban estos componentes en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

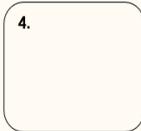
a.

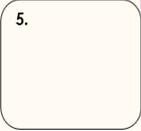
b) Dibuja y describe los pasos de los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas y los factores bióticos y abióticos que influyen en cada paso del proceso. Menciona al menos una interacción entre estos distintos factores para cada paso del proceso.

1. 
Factores que influyen: _____

2. 
Factores que influyen: _____

3. 
Factores que influyen: _____

4. 
Factores que influyen: _____

5. 
Factores que influyen: _____

b.

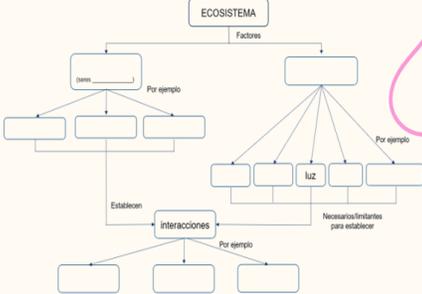
SESIÓN 7: ¿CÓMO REDEFINIMOS AHORA UN ECOSISTEMA Y SU DINÁMICA?

b) De acuerdo a lo revisado en el video y lo aprendido durante las últimas sesiones, responde:

1) ¿Qué es un ecosistema?

2) ¿Cómo está conformado un ecosistema?

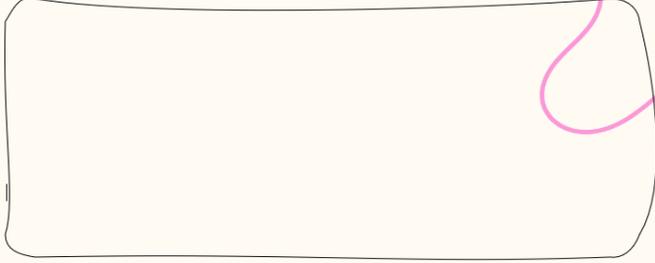
c) De acuerdo a tus conocimientos, completa el siguiente mapa conceptual



c.

SESIÓN 8: EL PEOR INCENDIO DE LA HISTORIA DE SAN LUIS POTOSÍ

c) Dibuja un ecosistema. Ahora que sabes más del tema, identifica claramente los factores que lo componen.



Identifica en tu dibujo y explica al menos tres interacciones entre los factores del ecosistema.

Figura 10.

Actividades para la evaluación de los modelos finales de los estudiantes. a. Durante la actividad 6, se les solicitó a los estudiantes que dibujaran y explicaran nuevamente el proceso de germinación de semillas y crecimiento de las plantas, se les volvió a facilitar el mismo patrón de recuadros empleado en la sesión tres para que completaran el proceso con sus nuevos modelos con base en lo observado y experimentado en el aula.

Las sesiones 7 y 8 tuvieron un enfoque general. b. En la sesión siete, se les solicitó a los estudiantes que contestaran a las preguntas “¿qué es y cómo está conformado un ecosistema?”. Además, completar un mapa conceptual que llevó por título “ecosistemas”, en donde debían identificar los factores que componían el ecosistema, ejemplificarlos y señalar interacciones que ocurrían entre estos.

c. En la sesión ocho, se les solicitó a los estudiantes que nuevamente que elaboraran un dibujo de un ecosistema y sus componentes y que además explicaran cómo consideraban que estos componentes interactúan.

Las representaciones fueron seleccionadas de acuerdo con las ideas clave estructurantes presencia, interacción y transformación. Por un lado, estas ideas construyen el modelo científico escolar estudiado. Por otro lado, nos ayudaron a comparar los modelos construidos por los estudiantes evaluando la progresión del aprendizaje adquirido que pretende avanzar hacia el modelo que se ajusta más a la realidad (Oliva, 2019).

8.5 Tolerancias y especificaciones en el análisis de las representaciones

Para efectos del análisis de los modelos construidos por los estudiantes, expresados mediante distintas representaciones, se tuvieron ciertas consideraciones teniendo en cuenta la escolaridad de los estudiantes y el diseño de la secuencia didáctica implementada, las cuales se muestran a continuación (tablas 7 y 8).

Tabla 7.

Tolerancias establecidas para el análisis de los modelos

CATEGORÍA DE ACUERDO A IDEA CLAVE	TOLERANCIA
PRESENCIA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pueden identificar los componentes bióticos y abióticos de manera textual o gráfica, en el caso de ser representación gráfica, no es necesaria una etiqueta para nombrarlos.
INTERACCIÓN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pueden identificar las interacciones entre los componentes bióticos y/o abióticos de manera textual o gráfica, en el caso de ser representación gráfica, es necesaria una flecha o línea de conexión entre los componentes. 2. La identificación de interacciones puede estar implícita en el texto, siempre y cuando se complemente con el contenido gráfico. 3. Para que la identificación de una interacción en la actividad que incluye dibujar y explicar el proceso de germinación, sea válida, los factores que interactúan deben estar señalados textualmente en el recuadro de “factores que influyen” y complementarse con el dibujo de los factores en interacción.
TRANSFORMACIÓN	<ol style="list-style-type: none"> 1. La identificación de transformaciones puede estar implícita en el texto, siempre y cuando se complemente con el contenido gráfico.

Tabla 8.

Especificaciones establecidas para el análisis de los modelos.

CATEGORÍA DE ACUERDO A IDEA CLAVE	ESPECIFICACIONES
PRESENCIA	<ol style="list-style-type: none">1. A partir de la revisión de los datos, los factores bióticos considerados para el análisis de los <i>modelos iniciales y finales</i> fueron: semilla, plantas, arboles, animales, seres humanos y microorganismos. Mientras que, los factores abióticos considerados fueron agua, aire, sol, tierra, temperatura. Cabe señalar que estas actividades tuvieron un enfoque general, aplicable a cualquier ecosistema (enfoque general).2. Los factores bióticos considerados para el análisis de los modelos <i>intermedios</i> a partir de la revisión de los datos fueron semilla y planta. Los factores abióticos contemplados fueron agua, tierra, aire y sol. Esto debido a que el diseño de las actividades contempló trabajar exclusivamente con los componentes presentes en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas (enfoque específico).
TRANSFORMACIÓN	<ol style="list-style-type: none">1. A partir de la revisión de los datos, se consideran términos textuales para definir las transformaciones:<ul style="list-style-type: none">• Germinación de semillas• Crecimiento de las plantas
GENERALES	<ol style="list-style-type: none">1. Las palabras escritas entre asteriscos (*) dentro del análisis interpretativo, son inferencias que surgen a partir de las indicaciones de la actividad o complemento de acciones que se reconocen a partir de la interacción representada de manera complementaria textual y gráfica.2. Los colores utilizados en los textos de los análisis interpretativos son únicamente para facilitar la lectura del análisis. No tienen un significado interpretativo.

8.6 Casos ejemplares del análisis de los datos

A continuación, se muestran ejemplares del análisis de los modelos construidos por los estudiantes para cada categoría.

Las ideas clave de *presencia* y *transformación* se evaluaron con base al criterio de *precisión* de la siguiente manera (ver tabla 9).

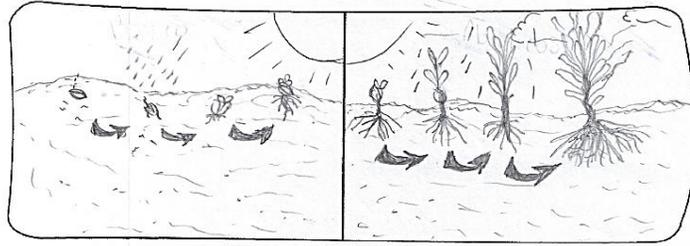
Tabla 9.

Ejemplos de análisis del criterio de precisión para cada una de las ideas clave estructurantes.

PRECISIÓN		
Idea	Nivel de cumplimiento	Ejemplo
PRESENCIA	Nivel carente	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> 2) ¿Cuáles factores son necesarios para conformar un ecosistema? <u>todos</u> </div> <p>Ejemplo del estudiante E2MI</p> <p>Transcripción: “Todos”.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante responde de manera general. No reconoce que el ecosistema está conformado por dos distintos tipos de componentes, no describe propiedades, características o nociones de los factores que conforman un ecosistema.</p>
	Nivel parcial	<div style="border: 1px solid yellow; padding: 5px;"> 2) ¿Cuáles factores son necesarios para conformar un ecosistema? <u>Plantas, tierra, animales,</u> </div> <p>Ejemplo del estudiante E5MI</p> <p>Transcripción: “Plantas, tierra, animales”.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante demuestra nociones de los factores que conforman un ecosistema, sin embargo, no los nombra clasificándolos bajo los términos adecuados.</p>
	Nivel adecuado	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px;"> 2) ¿Cómo está conformado un ecosistema? <u>Por factores bióticos y abióticos.</u> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <pre> graph TD E[ECOSISTEMA] -- Factores --> B[BIÓTICOS (seres VIVOS...)] E -- Factores --> A[ABIÓTICOS (seres sin vida)] B --- A </pre> </div> </div> <p>Ejemplo de la estudiante E1MF</p> <p>Transcripción: “Por factores bióticos (seres vivos) y abióticos (seres sin vida)”.</p> <p>Análisis interpretativo: La estudiante hace uso del léxico correcto para nombrar los componentes que conforman un ecosistema. Reconoce que el ecosistema está conformado por</p>

		<p>dos distintos tipos de componentes, describe características o nociones de estos factores.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">TRANSFORMACIÓN</p>	<p>Nivel carente</p>	<div data-bbox="634 283 1395 762" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="829 766 1170 798">Ejemplo del estudiante E2MI</p> <p data-bbox="613 829 1383 888">Transcripción: “El sol le da a la planta cuando la planta está regada (con agua)”.</p> <p data-bbox="613 890 1383 1068">Análisis interpretativo: El estudiante <i>no</i> reconoce cambios en los factores que identifica en formato multimodal. Se infiere una noción que indica una transformación como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos. Sin embargo, no describe ni conceptualiza adecuadamente el proceso que lleva a la transformación.</p>
	<p>Nivel parcial</p>	<div data-bbox="651 1102 1395 1507" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="816 1512 1179 1543">Ejemplo de la estudiante E3MI</p> <p data-bbox="613 1572 1383 1694">Transcripción: “con el sol, el agua y la tierra (con semillas también) podemos plantar ya sea plantas o alimento, y haci se va cuidando hasta que crecen, se van nutriendo de productos orgánicos y al final mueren”.</p> <p data-bbox="613 1696 1383 1875">Análisis interpretativo: La estudiante reconoce cambios en los factores que identifica en formato multimodal (crecimiento de las plantas). Se infiere una noción que indica una transformación como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos, sin embargo, no describe ni conceptualiza adecuadamente el proceso que lleva a la transformación.</p>

Nivel adecuado



Proceso de germinación de semillas

La semilla se planta y la tierra se humedece por lo cual se ablanda la semilla y salen las

(cotiledón) raíces y poco a poco salen al exterior.

Factores que influyen:

Tierra, minerales, Agua, Sol (temperatura)

Nutrición y crecimiento de plantas

al salir al exterior y desarrollar más raíces se nutre más la planta, gracias al sol pueden

hacer fotosíntesis

Factores que influyen:

Tierra, minerales, Agua, Aire, Sol

Ejemplo de la estudiante E6MIM

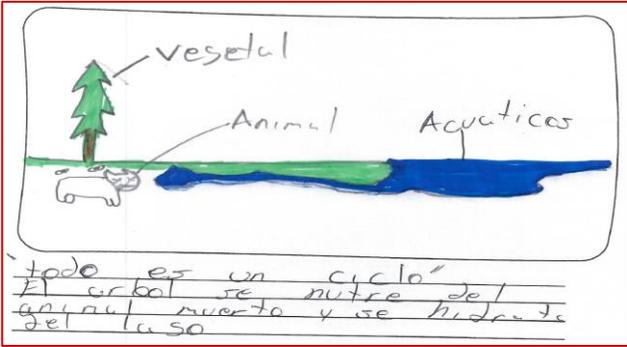
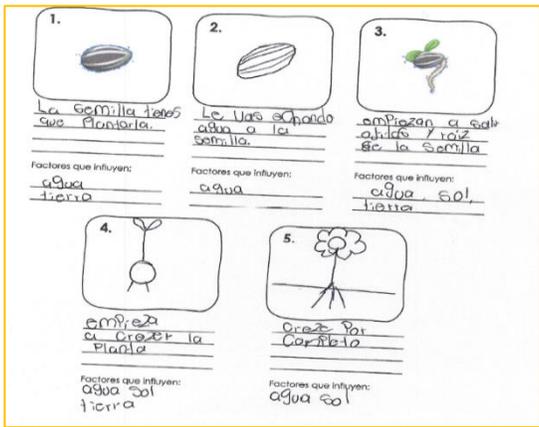
Transcripción: *Germinación de semillas:* "La semilla se planta y la tierra se humedece por lo cual se ablanda la semilla y salen las (cotiledón) raíces y poco a poco salen al exterior". *Crecimiento de las plantas:* "Al salir al exterior y desarrollar más raíces se nutre más la planta, gracias al sol pueden hacer fotosíntesis".

Análisis interpretativo: La estudiante reconoce transformaciones como consecuencia de la interacción entre distintos factores bióticos y abióticos, describe adecuadamente el proceso que lleva a las transformaciones.

Las ideas clave de *presencia, interacción y transformación* se evaluaron con base al criterio de *estructura* de la siguiente manera (ver tabla 10).

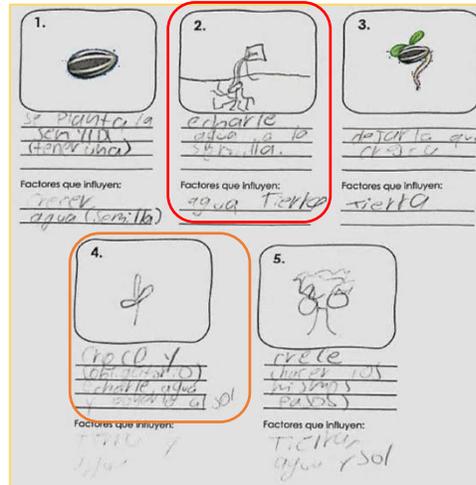
Tabla 10.

Ejemplos de análisis del criterio de estructura para cada una de las ideas clave estructurantes.

ESTRUCTURA		
Idea	Nivel de cumplimiento	Ejemplo
PRESENCIA	Nivel carente	 <p>Ejemplo del estudiante E4MI</p> <p>Transcripción: “Todo es un ciclo”. El árbol se nutre del animal muerto y se hidrata del lago.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce dos factores bióticos: animales y árbol. Y un factor abiótico: lago (agua).</p>
	Nivel parcial	 <p>Ejemplo del estudiante E7MIM</p> <p>Transcripción: “La semilla tienes que plantarla - le vas echando agua a la semilla - empiezan a salir ojitas y raíz de la semilla - empieza a crecer la planta - crece por completo” Factores que influyen: agua, tierra, sol.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce dos factores bióticos: semilla y planta. Y tres factores abióticos: agua, tierra y sol.</p>

	<p>Nivel adecuado</p>	<div data-bbox="769 212 1284 747" data-label="Image"> </div> <p>Ejemplo de la estudiante E6MIM</p> <p>Transcripción: “Tienes una semilla - empieza a absorber la humedad para germinar - desarrolla sus raíces (radícula) y aparecen pequeñas hojas - a la planta le van creciendo más hojas y aumenta su tamaño - la planta ha crecido bastante (florece)”.</p> <p>Factores que influyen: semilla, agua, tierra, luz solar, aire (oxígeno, dióxido de carbono).</p> <p>Análisis interpretativo: La estudiante reconoce dos factores bióticos: semilla y planta. Y cuatro factores abióticos: agua, tierra, aire y sol.</p>
<p>INTERACCIÓN</p>	<p>Nivel carente</p>	<div data-bbox="662 1157 1373 1619" data-label="Image"> </div> <p>Ejemplo del estudiante E5MI</p> <p>Transcripción: “El sol hace que crezca la planta y el agua hace que se hidrate”</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce dos interacciones: planta-sol, planta-agua.</p>

Nivel parcial

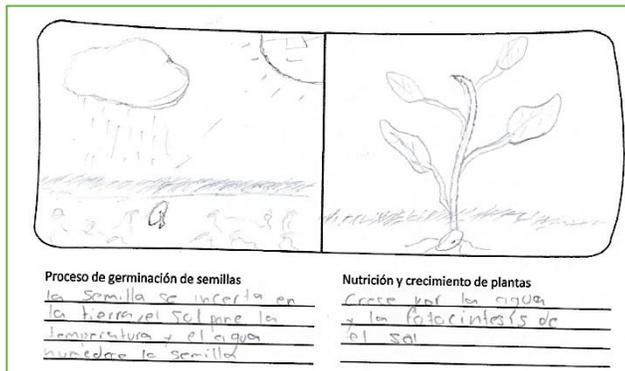


Ejemplo del estudiante E2MIM

Transcripción: “Se planta *tierra* la semilla (tener una) - echarle agua a la semilla dejarla que crezca *planta* - crece y (obligatorio) echarle agua y ponerla al sol. - crece (hacer los mismos pasos)”.
factores que influyen (representados textual y/o gráficamente): semilla, agua y tierra - planta, agua y sol.

Análisis interpretativo: El estudiante reconoce dos interacciones: tierra-semilla-agua y sol-planta-agua. En otros recuadros señala actividades, como “dejarla que crezca” con el factor tierra como relevante para esa acción. Sin embargo, aunque identifica el factor que influye en la actividad, la interacción no se describe o representa gráficamente, por lo que no es considerada como interacción.

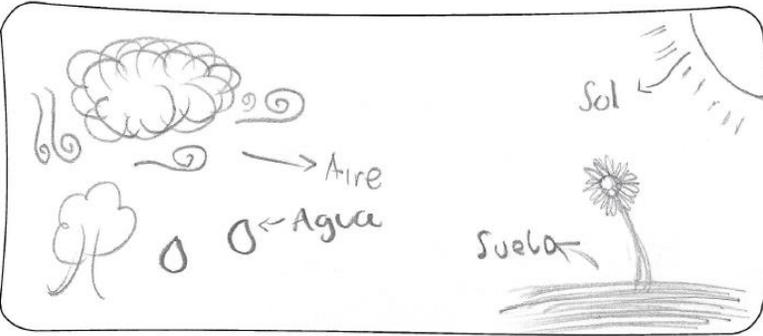
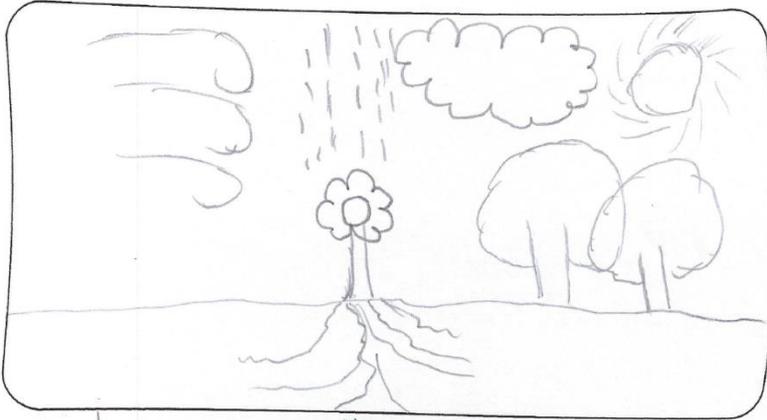
Nivel adecuado



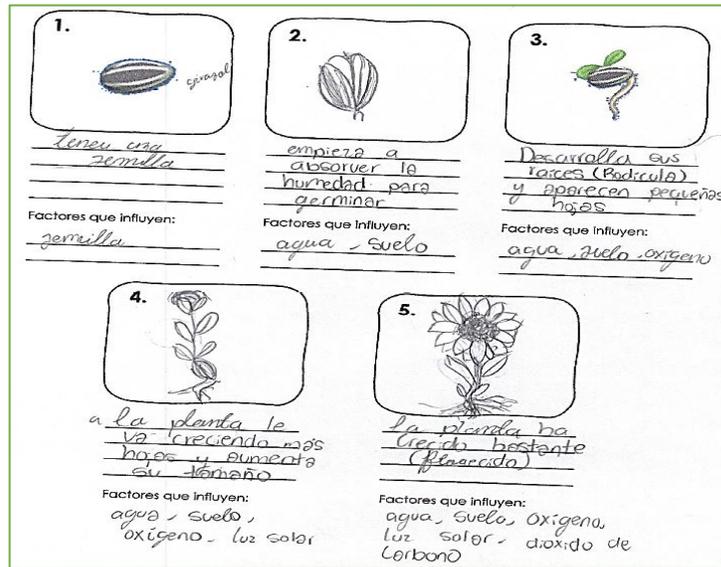
Ejemplo del estudiante E5MIM

Transcripción: “La semilla se inserta en la tierra, el sol pone la temperatura y el agua humedece la semilla factores que influyen (representados textual y/o gráficamente): semilla, agua, sol, temperatura y tierra, - crece *la planta* por el agua y la fotosíntesis del sol factores que influyen (representados textual y/o gráficamente): planta, agua y sol.

Análisis interpretativo: El estudiante reconoce cinco interacciones: semilla – tierra, sol – temperatura, agua – semilla, planta – agua, planta - sol.

TRANSFORMACIÓN	Nivel carente	 <p>d) Identifica en tu dibujo y explica al menos tres interacciones entre los factores del ecosistema.</p> <p><u>El agua interactúa con la planta, el aire con los humanos, y las plantas también con el sol</u></p>
	Nivel parcial	<p style="text-align: center;">Ejemplo de la estudiante E1MF</p> <p>Transcripción: “El agua interactúa con la planta, el aire con los humanos y las plantas también con el sol”.</p> <p>Análisis interpretativo: La estudiante reconoce interacciones entre los distintos factores que componen un ecosistema, pero no describe o identifica cambios en los factores o el ecosistema como resultado de estas interacciones.</p>  <p><u>Plantan una semilla y gracias a la tierra y otros componentes crece</u></p> <p style="text-align: center;">Ejemplo de la estudiante E7MI</p> <p>Transcripción: “Plantan una semilla y gracias a la tierra y otros componentes crece”.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce el “crecimiento” de la semilla como una sola transformación.</p>

Nivel adecuado



Ejemplo de la estudiante E6MIM

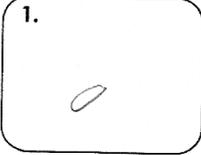
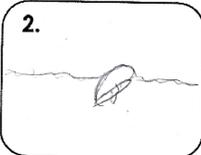
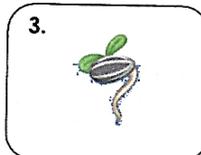
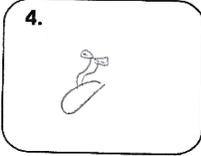
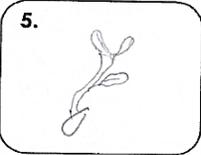
Transcripción: "Tienes una semilla - empieza a absorber la humedad para germinar - desarrolla sus raíces y aparecen pequeñas hojas - a la planta le van creciendo más hojas y aumenta su tamaño - la planta ha crecido bastante".

Análisis interpretativo: La estudiante reconoce dos transformaciones distintas, la germinación de la semilla y el crecimiento de la planta.

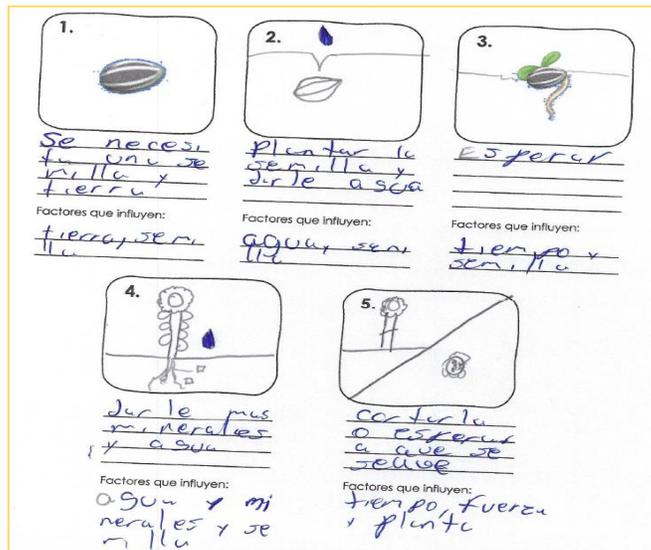
Las ideas clave de *interacción* y *transformación* se evaluaron con base al criterio de *aproximación sistémica* de la siguiente manera (ver tabla 11).

Tabla 11.

Ejemplos de análisis del criterio aproximación sistémica para cada una de las ideas clave estructurantes.

APROXIMACIÓN SISTÉMICA		
Idea	Nivel de cumplimiento	Ejemplo
INTERACCIÓN	Nivel carente	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1.</p>  <p><u>Se incerta</u> <u>la semilla</u> <u>en la tierra</u></p> <p>Factores que influyen: <u>Tierra</u></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2.</p>  <p><u>La semilla</u> <u>esta sacando</u> <u>su primera</u> <u>raíz</u></p> <p>Factores que influyen: <u>Tierra</u></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>3.</p>  <p><u>Se humedece</u> <u>la semilla y</u> <u>crece raíz</u></p> <p>Factores que influyen: <u>Agua</u></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>4.</p>  <p><u>sale el primer</u> <u>brote por el</u> <u>sol</u></p> <p>Factores que influyen: <u>Sol</u></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>5.</p>  <p><u>La planta</u> <u>ya crecio</u></p> <p>Factores que influyen: <u>Sol</u></p> </div> </div> </div> <p style="text-align: center;">Ejemplo del estudiante E5MF</p> <p>Transcripción: “Se incerta la semilla en la tierra – la semilla esta sacando su primera raíz – se humedece *con agua* la semilla y crece la raíz - sale el primer brote por el sol - la planta ya crecio”.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce tres interacciones, las cuales, tienen un enfoque de aproximación lineal, ya que identifica únicamente la interacción entre dos factores de manera lineal.</p>

Nivel parcial



Ejemplo del estudiante E4MIM

Transcripción: “Se necesita una semilla y tierra – plantar la semilla ***en tierra*** y darle agua – esperar – darle mas minerales y agua – cortarla o esperar a que se seque”.

Análisis interpretativo: El estudiante reconoce una interacción, en la cual un factor biótico interactúa con dos factores abióticos, **tierra** – **semilla** - **agua**.

	<p>Nivel adecuado</p>	<div data-bbox="711 210 1312 850" data-label="Image"> <p>ver proceso.</p> <p>1. agua</p> <p>2. agua sol</p> <p>3. agua sol tierra</p> <p>Factores que influyen: Se humedesa y empieza a salir brotes</p> <p>Factores que influyen: con el sol y el agua empiezan a salir brotes</p> <p>Factores que influyen: con el agua la tierra y el sol va creciendo y va a la mitad del proceso de germinacion</p> <p>4. agua sol y tierra</p> <p>5. agua sol y tierra</p> <p>Factores que influyen: casi termina su proceso y ya sale la planta y se va nutriendo del agua y de la tierra</p> <p>Factores que influyen: Esta se termina de transformar y crece por completo por todos los componentes</p> </div> <p>Ejemplo del estudiante E7MF</p> <p>Transcripción: “Se humedesa *la semilla* y empieza a germinar” - con el sol y el agua empiezan a salir brotes – *la semilla* con el agua, la tierra y el sol va creciendo y va a la mitad del proceso de germinación – casi termina su proceso y ya sale la planta y se va nutriendo del agua y de tierra – esta se termina de transformar y crece por completo por todos los componentes”.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce una interacción, en la cual un factor biótico interactúa con tres factores abióticos, tierra y agua– semilla - sol.</p>
<p>TRANSFORMACIÓN</p>	<p>Nivel carente</p>	<div data-bbox="646 1270 1360 1675" data-label="Image"> </div> <p>Ejemplo del estudiante E4MF</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante no reconoce transformaciones. No acompaña con texto su dibujo.</p>

	<p>Nivel parcial</p>	<div data-bbox="803 210 1312 577" data-label="Image"> </div> <p>Ejemplo del estudiante E5MF</p> <p>Transcripción: “Se incerta la semilla en la tierra – la semilla esta sacando su primera raíz – se humedece *con agua* la semilla y crece raíz - sale el primer brote por el sol - la planta ya creció.</p> <p>Análisis interpretativo: El estudiante reconoce la transformación de 1) <i>germinación de la semilla</i> por la interacción de la semilla con la tierra y posteriormente de la semilla con el agua, pero no describe una interacción compleja. El estudiante reconoce el crecimiento de la planta por la interacción del “primer brote” con el sol.</p>
	<p>Nivel adecuado</p>	<div data-bbox="743 976 1364 1375" data-label="Image"> </div> <p>Ejemplo de la estudiante E6MIM</p> <p>Transcripción: <i>Germinación de semillas:</i> “La semilla se planta y la tierra se humedece *con agua* por lo cual se <i>ablanda la semilla</i> y salen las raíces y poco a poco salen al exterior”. <i>Crecimiento de las plantas:</i> “Al salir al exterior y desarrollar más raíces se nutre más la planta *tierra y agua*, gracias al sol pueden hacer fotosíntesis”.</p> <p>Análisis interpretativo: La estudiante reconoce las transformaciones como consecuencia de la interacción entre los factores bióticos (semilla y planta) y dos o más factores abióticos como causa de estas transformaciones.</p>

8.7 Representación gráfica de los modelos construidos por los estudiantes

Con la finalidad de presentar los resultados de manera concisa y clara, se elaboraron diagramas que representan de manera gráfica los modelos construidos por los estudiantes permitiendo visualizar esquemáticamente los componentes de cada modelo y las relaciones entre ellos (Márzabal, et al., 2021). Se representaron los modelos de cada uno de los estudiantes en sus tres momentos de análisis a partir de las categorías propuestas para la caracterización del modelo científico escolar.

La idea de presencia se representó con círculos de color verde y azul que señalan los componentes bióticos y abióticos identificados, respectivamente. Las ideas de interacción y transformación se representaron con líneas en distintos formatos y colores. Se representó la evaluación de las tres ideas estructurantes con respecto a los criterios de estructura y aproximación sistémica. Es importante aclarar, que en estos diagramas no se incluye el criterio de precisión.

Estos diagramas se relacionan directamente con los niveles de cumplimiento propuestos para la evaluación de los modelos. Es decir, en los diagramas se evidencia la cantidad de componentes, interacciones y transformaciones que los estudiantes identifican. Además, se resalta la visión que tienen respecto a las interacciones entre los componentes, si son lineales, complejas o sistémicas y si estas interacciones conllevan un cambio.

8.7.1. Caso ejemplar para la explicación de los diagramas.

La explicación de los diagramas se presenta con los modelos elaborados por el estudiante E7, el cual incluyó todos los componentes necesarios para la explicación de los diagramas de las representaciones, considerando las categorías definidas para la evaluación de los modelos (ver figura 11).

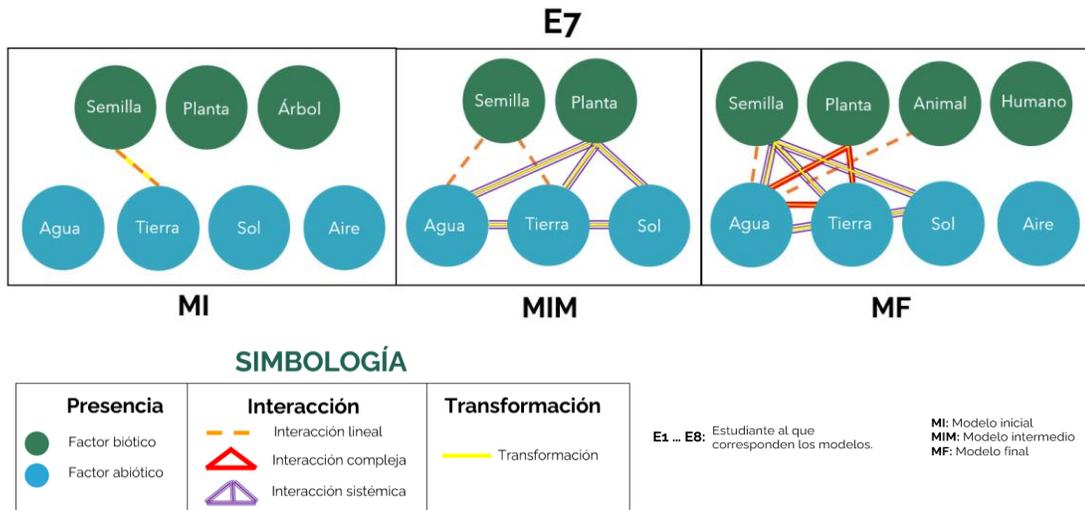


Figura 11.
 Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E7

En el modelo inicial, se puede observar que el estudiante E7 identificó tres componentes bióticos y cuatro componentes abióticos. También reconoció una interacción lineal, señalizada con una línea punteada en color anaranjado, entre dos de estos componentes (semilla – tierra). Además, el estudiante señaló que la interacción entre estos componentes provoca una transformación. Esto se representa con una línea amarilla que se sobrepone a la línea de la interacción correspondiente a la transformación.

En el modelo intermedio, el estudiante distinguió dos componentes bióticos y tres componentes abióticos. También, señaló tres interacciones: dos interacciones lineales señalizadas con líneas punteadas de color anaranjado (semilla – agua y semilla – tierra) y una interacción sistémica señalizada con líneas triples color morado. Asimismo, el estudiante

reconoció una transformación a partir de la interacción sistémica entre los distintos componentes. Esta transformación se marca con una línea amarilla que se sobrepone a la línea morada que corresponde a la interacción que conlleva la transformación. En este modelo se puede observar que no todas las interacciones que el estudiante identifica conllevan una transformación.

El modelo final muestra que el estudiante identificó cuatro componentes bióticos y cuatro componentes abióticos. También se puede observar que señaló dos interacciones lineales (semilla – agua, animal – agua), una interacción compleja (agua – planta – tierra) y una interacción sistémica en la que interactúan entre sí cuatro componentes (agua – semilla – sol – tierra). Además, reconoció dos transformaciones, señalizadas con una línea amarilla que se sobrepone a las líneas que representan las interacciones, una a partir de la interacción compleja y otra a partir de la interacción sistémica.

Resultados

Tras aplicar las categorías descritas en la metodología se evaluaron los modelos construidos por los alumnos, expresados mediante representaciones textuales o gráficas con referencia al modelo científico escolar estudiado.

La evaluación de las representaciones de los estudiantes permite reconocer si los modelos progresaron a ser modelos más precisos, estructurados y elaborados desde el uso de la idea de aproximación sistémica. Esto con relación al reconocimiento de componentes bióticos y abióticos de un ecosistema, sus interacciones y las transformaciones que ocurren a partir de estas interacciones.

Se vuelve necesario recordar que los modelos construidos en los momentos iniciales y finales fueron construidos desde un enfoque general (complejo) respecto a cualquier ecosistema. Mientras que, el modelo intermedio fue construido específicamente a partir de los componentes, interacciones y transformaciones involucrados en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas (enfoque específico).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis cualitativo y evaluación realizado para los modelos construidos por los estudiantes. Se muestran los resultados grupales e individuales. Los resultados grupales permiten evaluar el desempeño del grupo, identificando tendencias de aprendizaje comunes y mejorar prácticas de enseñanza. A nivel individual, permiten la evaluación del progreso personal, reconociendo las limitaciones y logros de cada estudiante. Esta dualidad en la evaluación contribuye a una visión integral del aprendizaje, optimizando tanto la enseñanza como los resultados educativos.

9.1 Resultados por estudiantes

9.1.1. El caso de la estudiante E1

A continuación, se presenta el análisis y evaluación de la progresión en los modelos construidos por la estudiante E1 (ver figura 12).

Haciendo una comparativa entre los tres modelos construidos por la estudiante, se puede señalar que existe una evidente progresión respecto a la estructura del modelo, evidenciando un aumento de componentes bióticos y abióticos identificados entre el modelo inicial y el modelo final, así como también un aumento en la cantidad de interacciones que reconoció la estudiante.

Respecto a la visión sistémica, se observó que en los modelos inicial y final, que son de carácter general, la estudiante no logró apropiarse de la idea de una aproximación sistémica, ya que únicamente detectó que existen algunas interacciones lineales. Sin embargo, en el modelo intermedio, que estuvo enfocado en interacciones en procesos específicos, la estudiante señaló interacciones lineales y logró apropiarse de una visión sistémica en donde reconoció que más de tres componentes de los que identificó interactúan entre sí.

Por otro lado, solo en el momento intermedio la estudiante señaló que las interacciones que describió conllevan transformaciones. Además, identificó cambios en algunos de los componentes a partir de la interacción sistémica, pero también como resultado de una interacción lineal entre la semilla y el agua.

Con base en este análisis, se observa que la estudiante progresó significativamente en cuanto estructura, aumentando la cantidad de componentes e interacciones identificadas en un panorama general. Cuando la estudiante utilizó lo aprendido en los procesos específicos, logró hacer uso de una idea de aproximación sistémica. La estudiante no adquirió una visión sistémica en un panorama general, sin embargo, hizo un esfuerzo por reconocer nuevos componentes e identificar interacciones

que involucren estos nuevos componentes. Es decir, de manera general, la estudiante centró sus esfuerzos cognitivos en distinguir nuevos componentes y de manera específica en rescatar las interacciones que ocurren entre los componentes que ya son conocidos por ella y las transformaciones que ocurren a partir de estas interacciones.

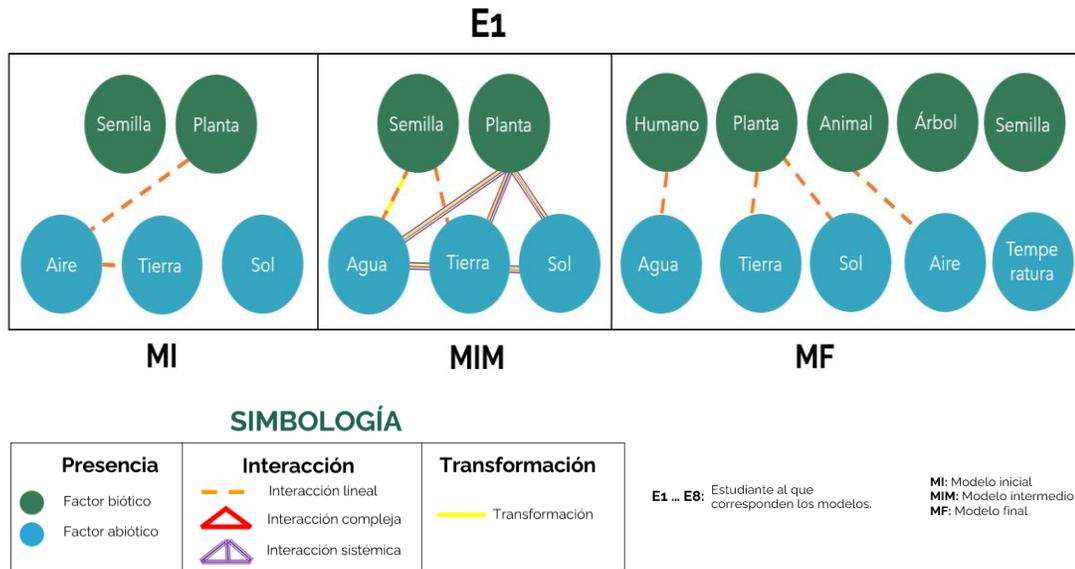


Figura 12.
Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E1.

9.1.2. El caso del estudiante E2

En la figura 13 se presenta el análisis y evaluación de la progresión en los modelos construidos por el estudiante E2. Al comparar los tres modelos del estudiante E2, se observa una progresión en la estructura, con un aumento en los componentes bióticos y, especialmente, en la cantidad de interacciones representadas.

A pesar de que el estudiante no logró completamente hacer uso de una visión sistémica, avanzó de una perspectiva lineal a una más compleja. En los modelos intermedio y final, reconoció que muchas de las interacciones que representó conllevan transformaciones en los componentes.

Por lo que se puede concluir que, el estudiante progresó al identificar interacciones entre múltiples componentes y reconocer los cambios que resultan de estas interacciones, enfocándose en las relaciones y transformaciones dentro de los modelos, más que en añadir componentes.

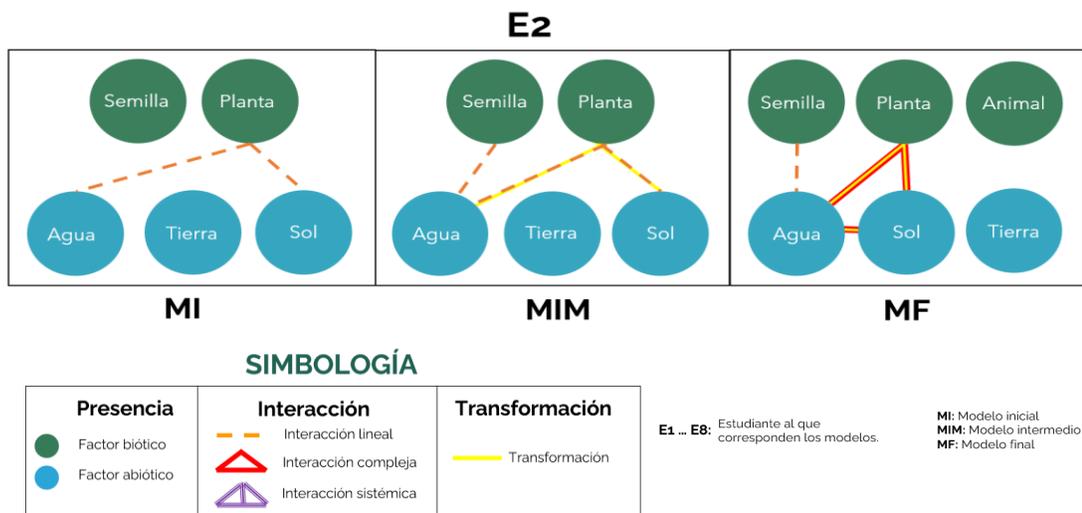


Figura 13.
 Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E2

9.1.3. El caso de la estudiante E3

En la figura 14 se observa el análisis y evaluación de la progresión en los modelos representados por la estudiante E3. A diferencia de los observa en los estudiantes analizados anteriormente, se puede apreciar que los tres modelos son similares.

En cuanto a estructura, la estudiante mantuvo la cantidad de componentes abióticos identificados durante los tres momentos de análisis. Sin embargo, en el modelo final añadió un nuevo componente biótico de interés, los humanos. Asimismo, la cantidad de interacciones identificadas por la estudiante es constante en los tres momentos de análisis.

Respecto a la visión sistémica, observamos que la estudiante desde el primer momento de análisis hizo uso de una idea de aproximación sistémica, sin embargo, en los momentos intermedio y final, únicamente reconoció interacciones lineales y complejas.

Por otro lado, en el momento intermedio, la estudiante reconoció que la interacción compleja que identificó conlleva un cambio en alguno de los componentes involucrados. Se puede concluir que los modelos de la estudiante se mantienen constantes en cuanto a estructura. Inicialmente la estudiante hizo uso de una visión sistémica, señalando una interacción entre más de tres componentes de los que identificó. Sin embargo, al momento de aplicar esta visión a un proceso específico o involucrar nuevos componentes de manera general, solo logró reconocer interacciones complejas entre los distintos componentes.

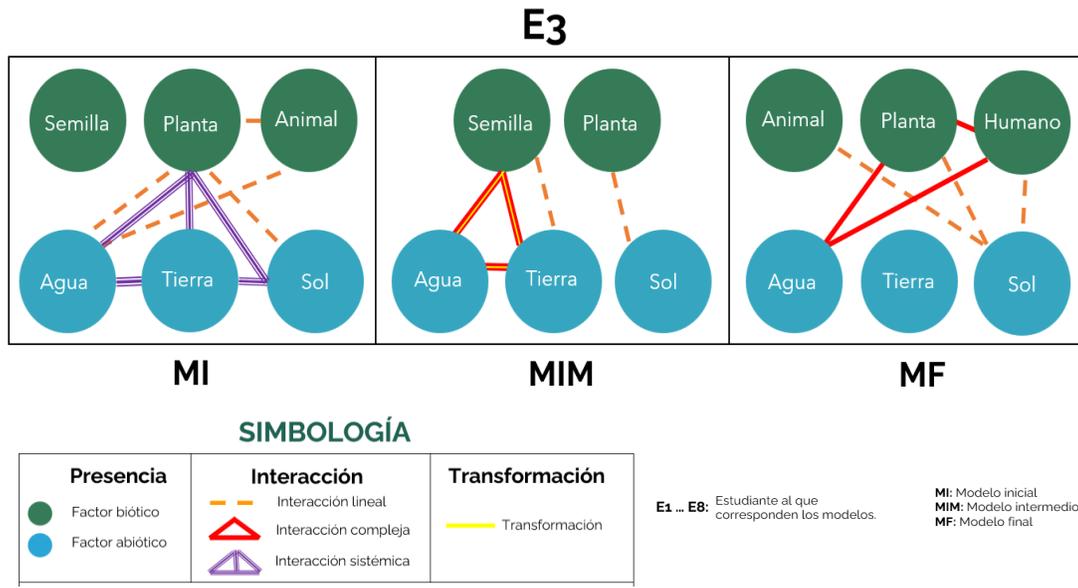


Figura 14.
 Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E3.

9.1.4. El caso del estudiante E4

En la figura 15 se observa la progresión de los modelos representados por el estudiante E4. Al igual que con la estudiante E1, se observó un avance significativo en la estructura de los modelos del estudiante, con un aumento en los componentes bióticos y abióticos identificados, así como en las interacciones señaladas entre el modelo inicial y el final. Aunque el estudiante no adoptó completamente una visión sistémica, sí progresó en la identificación de interacciones lineales y complejas entre más de dos componentes en los modelos intermedio y final. Además, en el momento final, reconoció que las interacciones complejas conllevan transformaciones en algunos de los componentes.

Por lo anterior, puede señalarse que el estudiante progresó notablemente en la estructura de los modelos, centró sus esfuerzos en añadir nuevos componentes, destacar las interacciones y las transformaciones derivadas de estas, y asociar los nuevos componentes integrados.

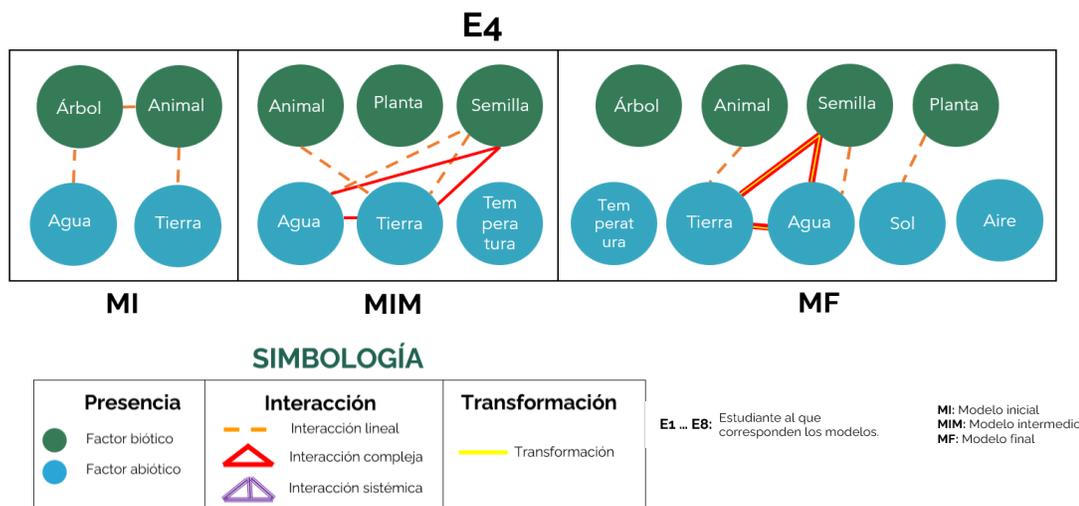


Figura 15.
 Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E4.

9.1.5. El caso del estudiante E5

Se puede observar la progresión de los modelos del estudiante E5 en la figura 16. Al evaluar los modelos del estudiante E5, se observa una clara progresión en la estructura, con un aumento tanto en los componentes bióticos y abióticos como en la cantidad de interacciones identificadas, similar a los estudiantes E1 y E4.

Respecto a la aproximación sistémica, el estudiante no logró hacer uso de una visión sistémica pero sus modelos progresaron satisfactoriamente al reconocer interacciones complejas entre más de dos componentes en los modelos intermedio y final. Además, en todos los momentos de análisis, el estudiante identificó que estas interacciones, ya sean lineales o complejas, conllevan transformaciones en los componentes involucrados.

Es decir, el estudiante mostró un progreso significativo en la estructura del modelo, enfocándose en identificar nuevos componentes, las interacciones entre ellos y las transformaciones resultantes.

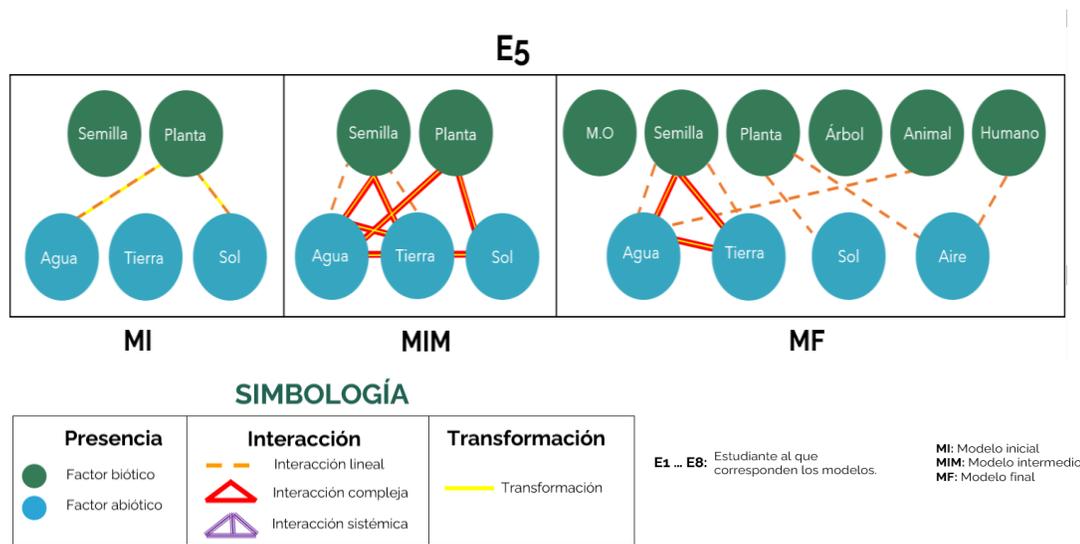


Figura 16.
 Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E5.

9.1.6. El caso de la estudiante E6

En la figura 17 se presenta el análisis y evaluación de la progresión en los modelos construidos por la estudiante E6.

La estudiante E6, desde el modelo inicial representó una estructura adecuada, con una cantidad consistente de componentes bióticos y abióticos y una cantidad adecuada de interacciones entre ellos. Aunque no adoptó plenamente una visión sistémica, en los modelos intermedio y final logró identificar interacciones más complejas entre varios componentes.

En todos los modelos, reconoció que estas interacciones, ya sean simples o complejas, implicaban transformaciones en los componentes.

Con base a la evaluación de los modelos, se puede concluir que la estudiante mantuvo una buena estructura en sus modelos y se centró en identificar interacciones y transformaciones entre los componentes que ya conocía.

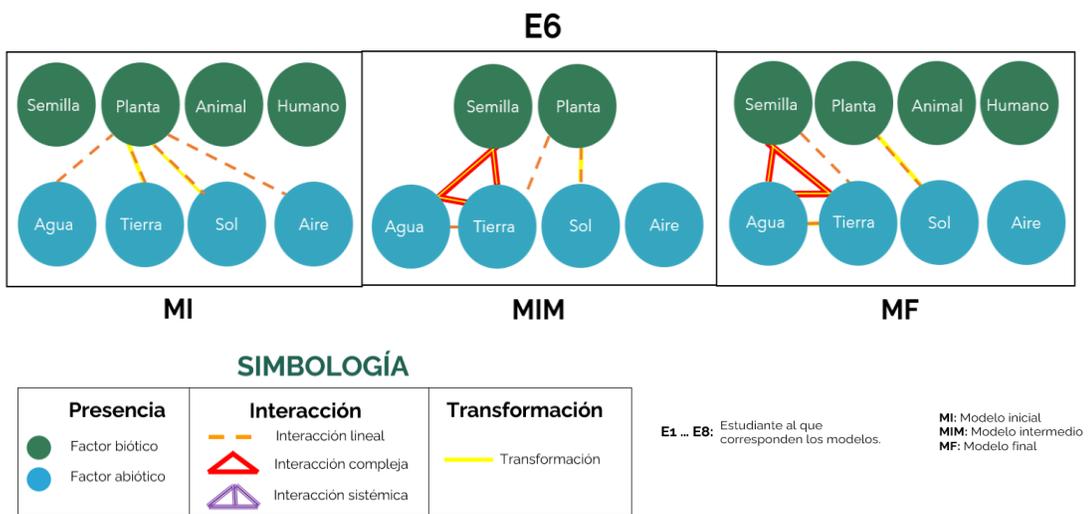


Figura 17.

Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E6.

9.1.7. El caso del estudiante E7

A continuación, se presenta el análisis y evaluación de la progresión en los modelos construidos por el estudiante E7 (ver figura 18).

Al evaluar los modelos construidos por el estudiante E7, se puede señalar que desde un inicio presentó un nivel parcial respecto a la estructura del modelo, progresando en su modelo final a la identificación de nuevos componentes. De la misma manera, se observa que la cantidad de interacciones entre los componentes que identifica aumentan significativamente en cada momento de análisis. En relación con la aproximación sistémica, el estudiante progresó en los modelos intermedio y final al identificar interacciones sistémicas, complejas y lineales entre varios componentes. En todos los momentos de análisis, reconoció que estas interacciones implicaban transformaciones en los componentes.

A partir de la evaluación puede señalarse que el estudiante mantuvo una estructura adecuada y se enfocó en identificar interacciones y transformaciones entre los componentes conocidos logrando una aproximación sistémica. Hizo un esfuerzo importante en reconocer interacciones que ocurren involucrando los componentes nuevos que integró.

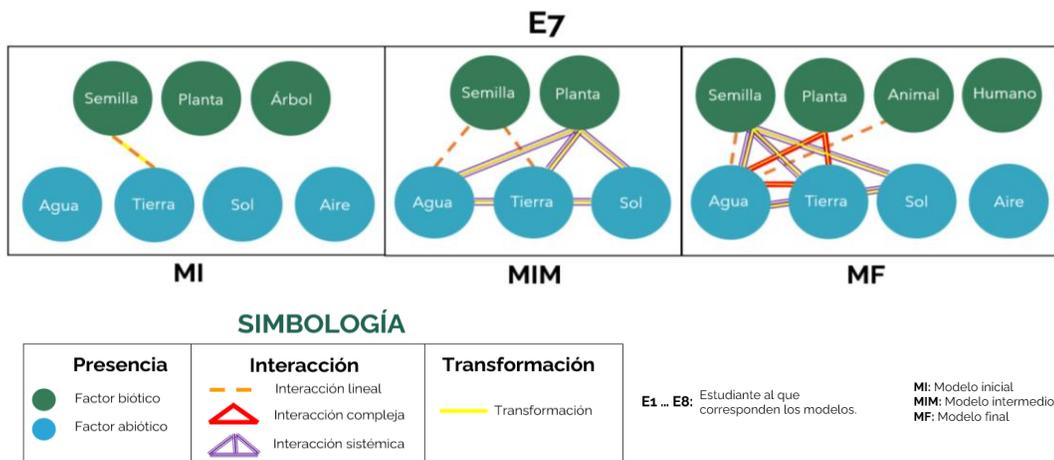


Figura 18.

Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E7.

9.1.8. El caso de la estudiante E8

En la figura 19 se observa la progresión de los modelos elaborados por la estudiante E8.

Los tres modelos de la estudiante son similares. La estudiante mantuvo la cantidad de componentes abióticos a lo largo de los análisis, pero en el modelo final identificó nuevos componentes bióticos, como los humanos. La cantidad de interacciones que reconoció fue mayor en el primer modelo que en los modelos intermedio y final, aunque hubo un progreso significativo al identificar interacciones entre los nuevos componentes. En términos de visión sistémica, la estudiante logró una perspectiva compleja en las actividades con enfoque general durante los modelos inicial y final, pero en el modelo intermedio al trabajar con procesos específicos solo logró una visión lineal. Además, reconoció en los modelos inicial e intermedio que la mayoría de las interacciones implicaban cambios en los componentes.

En general, los modelos se mantuvieron constantes en cuanto a estructura y la estudiante se enfocó en identificar interacciones, especialmente complejas, entre los nuevos componentes.

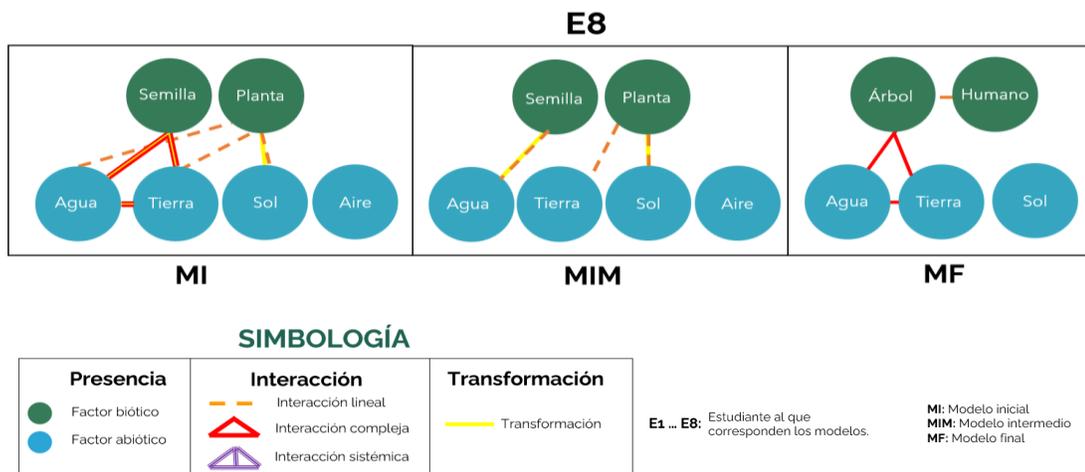


Figura 19.

Diagramas de los modelos construidos por el estudiante E8.

9.2 Resultados grupales

A continuación, se describe las semejanzas y diferencias observadas en la evaluación de los modelos construidos por los estudiantes a nivel grupal. Los resultados se muestran siguiendo el orden de complejidad ascendente de las tres ideas estructurantes definidas para el modelo científico escolar.

9.2.1 Resumen de resultados grupales para la idea estructurante de presencia

Se evaluó la progresión de los modelos construidos por los estudiantes a partir de la idea clave estructurante de presencia con respecto a los criterios de precisión y estructura. Se propuso que los estudiantes construyeran modelos en los que reconocieran que el ecosistema está conformado por dos tipos de componentes: bióticos y abióticos; haciendo uso textual de estos términos (**precisión**). Además, que el ecosistema está conformado por una diversidad de componentes bióticos y abióticos, refiriéndose específicamente a la cantidad de componentes bióticos y abióticos que identifican como parte de los ecosistemas (**estructura**).

Respecto a la categoría *presencia-precisión*, de los ocho estudiantes evaluados, en los modelos iniciales, más de la mitad de ellos (5/8), presentaron un nivel de cumplimiento carente, tres de ellos un nivel parcial y solo un modelo (1/8) en nivel adecuado. Para la evaluación de los modelos finales, el total de la muestra (8/8) logró el nivel de cumplimiento adecuado (ver tabla 12).

Tabla 12.

Resumen de análisis de la categoría presencia - precisión

Estudiante	CATEGORÍA	
	presencia-precisión	
	MI	MF
E1	carente	adecuado
E2	carente	adecuado
E3	parcial	adecuado
E4	carente	adecuado
E5	carente	adecuado
E6	adecuado	adecuado
E7	parcial	adecuado
E8	parcial	adecuado

Para los resultados de la categoría *presencia-estructura*, de los ocho estudiantes evaluados, en los modelos iniciales, un estudiante logró el nivel de cumplimiento adecuado, solo dos se encontraron en nivel parcial y cinco de los modelos se ubicaron en el nivel de cumplimiento carente. Para el momento de análisis intermedio, todos los modelos que se encontraron en un nivel carente progresaron a un nivel parcial o adecuado, el resto de los modelos se mantuvo en su nivel de cumplimiento. Seis de los modelos (6/8) alcanzaron un nivel de cumplimiento parcial y dos (2/8) lograron el nivel de cumplimiento adecuado. Para el momento de análisis final, un modelo (1/8) regresó a un nivel carente, dos (2/8) más obtuvieron un nivel parcial y cinco (5/8) progresaron a un nivel de cumplimiento adecuado (ver tabla 13).

Tabla 13

Resumen de análisis de la categoría presencia – estructura.

	CATEGORÍA		
	presencia - estructura		
	MI	MIM	MF
E1	carente	parcial	adecuado
E2	carente	parcial	parcial
E3	parcial	parcial	parcial
E4	carente	parcial	adecuado
E5	carente	parcial	adecuado
E6	adecuado	adecuado	adecuado
E7	parcial	parcial	adecuado
E8	carente	adecuado	carente

9.2.2 Resultados grupales para la idea estructurante de interacción

Se evaluó la progresión de los modelos construidos por los estudiantes a partir de la idea clave estructurante de *interacción* con respecto a los criterios de estructura y aproximación sistémica. Se propuso que los estudiantes construyeran modelos en los que reconocieran que en los ecosistemas ocurren múltiples y distintas interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que lo conforman (**estructura**). Además, que el estudiante reconociera la característica sistémica de un ecosistema mediante la identificación de interacciones entre al menos un componente biótico y tres o más componentes abióticos entre sí (**aproximación sistémica**).

Los resultados de la categoría *interacción-estructura* indicaron que, en los modelos iniciales, ningún modelo logró el nivel de cumplimiento adecuado, solo tres se encontraron en nivel parcial y la mayoría (5/8) de los modelos se ubicaron en el nivel de cumplimiento carente. Para el momento de análisis intermedio, todos los modelos de los estudiantes progresaron a un nivel parcial. En el momento de análisis final, dos modelos obtuvieron (2/8) un nivel carente, cinco (5/8) más obtuvieron un nivel parcial y un modelo (1/8) el nivel de cumplimiento adecuado (ver tabla 14).

Tabla 14

Resumen de análisis de la categoría interacción – estructura.

	CATEGORÍA		
	interacción - estructura		
	MI	MIM	MF
E1	carente	parcial	parcial
E2	carente	parcial	carente
E3	parcial	parcial	parcial
E4	carente	parcial	parcial
E5	carente	parcial	adecuado
E6	parcial	parcial	parcial
E7	carente	parcial	parcial
E8	parcial	parcial	carente

Para la categoría de *interacción-aproximación sistémica*, cinco de los ocho estudiantes evaluados en los modelos iniciales presentaron un nivel de cumplimiento carente, solo un estudiante obtuvo un nivel parcial y otro un nivel adecuado. En la evaluación de los modelos intermedios, dos de los modelos de los estudiantes lograron un nivel carente (2/8), la mitad de los modelos alcanzaron un nivel parcial (4/8) y dos más (2/8) lograron el nivel adecuado de cumplimiento. Para el momento final de análisis, la mayoría de los modelos lograron un nivel parcial (6/8), un modelo se mantuvo en el nivel adecuado y uno más mantuvo el nivel carente obtenido en el momento inicial (ver tabla 15).

Tabla 15

Resumen de análisis de la categoría interacción – aproximación sistémica

	CATEGORÍA		
	interacción - aproximación sistémica		
	MI	MIM	MF
E1	carente	adecuado	carente
E2	carente	carente	parcial
E3	adecuado	parcial	parcial
E4	carente	parcial	parcial
E5	carente	parcial	parcial
E6	carente	parcial	parcial
E7	carente	adecuado	adecuado
E8	parcial	carente	parcial

9.2.3 Resultados grupales para la idea estructurante de transformación

Se analizó la evolución de los modelos de los estudiantes basándose en la idea clave de transformación, considerando la precisión, estructura y enfoque sistémico de los modelos. Se buscó que los estudiantes identificaran y describieran transformaciones, utilizando términos adecuados (**precisión**). En cuanto a la **estructura**, se pretendió que comprendieran los múltiples cambios en los componentes bióticos y abióticos, específicamente señalando la cantidad de transformaciones, y en la **aproximación sistémica**, que reconocieran transformaciones provocadas por interacciones complejas entre más de dos componentes bióticos y/o abióticos.

Para la categoría de *transformación-precisión*, seis (6/8) de los modelos iniciales obtuvieron el nivel de cumplimiento carente y solo dos (2/8) lograron un nivel parcial. Respecto a los modelos intermedios, la mayoría de los modelos logró progresar, siendo solo un modelo con nivel de cumplimiento carente, cinco con nivel parcial (5/8) y dos con nivel adecuado (2/8). Para los modelos finales la mitad de las representaciones de los modelos lograron un nivel adecuado (4/8) y el resto un nivel de cumplimiento carente (4/8) (ver tabla 16).

Tabla 16

Resumen de análisis de la categoría transformación – precisión

	CATEGORÍA		
	transformación-precisión		
	MI	MIM	MF
E1	carente	parcial	carente
E2	carente	carente	carente
E3	parcial	parcial	carente
E4	carente	parcial	adecuado
E5	carente	adecuado	adecuado
E6	carente	adecuado	adecuado
E7	carente	parcial	adecuado
E8	parcial	parcial	carente

Para la categoría de *transformación-estructura*, cuatro (4/8) de las representaciones de los modelos iniciales obtuvieron el nivel de cumplimiento parcial, tres (3/8) obtuvieron un nivel carente y solo una representación (1/8) de los modelos logró un nivel de cumplimiento adecuado. Respecto a los modelos intermedios, seis de las representaciones de los modelos lograron progresar satisfactoriamente. Tres de las representaciones de los modelos (3/8) con nivel de cumplimiento parcial y cinco (5/8) con nivel de cumplimiento adecuado. Para las representaciones de los modelos finales, la mitad de los modelos (4/8) obtuvieron un nivel adecuado de cumplimiento, uno (1/8) obtuvo un nivel de cumplimiento parcial y tres (3/8) más obtuvieron el nivel de cumplimiento carente (ver tabla 17).

Tabla 17
Resumen de análisis de la categoría transformación – estructura

	CATEGORÍA		
	transformación-estructura		
	MI	MIM	MF
E1	parcial	adecuado	carente
E2	carente	parcial	parcial
E3	carente	adecuado	carente
E4	carente	parcial	adecuado
E5	parcial	adecuado	adecuado
E6	parcial	adecuado	adecuado
E7	parcial	parcial	adecuado
E8	adecuado	adecuado	carente

En cuanto a la categoría de transformación-aproximación sistémica, la mitad de los modelos iniciales (4/8) mostró un nivel de cumplimiento carente, tres modelos (3/8) alcanzaron un nivel parcial, y solo uno logró un nivel adecuado. Mientras que en los modelos intermedios, una representación mantuvo un nivel carente, tres modelos (3/8) progresaron a un nivel parcial, y la mitad (4/8) alcanzó un nivel adecuado. Para los modelos finales, cinco representaciones (5/8) lograron un nivel adecuado de cumplimiento, mientras que tres (3/8) mantuvieron un nivel carente (ver tabla 18).

Tabla 18

Resumen de análisis de la categoría transformación – aproximación sistémica

	CATEGORÍA		
	transformación-aproximación sistémica		
	MI	MIM	MF
E1	carente	adecuado	carente
E2	carente	parcial	adecuado
E3	carente	parcial	carente
E4	carente	carente	adecuado
E5	parcial	adecuado	adecuado
E6	parcial	adecuado	adecuado
E7	parcial	adecuado	adecuado
E8	adecuado	parcial	carente

De acuerdo con los datos analizados en esta investigación, y a partir de las categorías propuestas, puede inferirse que el progreso de los modelos de los estudiantes expresado mediante representaciones cumple principalmente con tres patrones:

1) Los estudiantes centran su esfuerzo cognitivo en reconocer una mayor cantidad o diversidad de componentes bióticos y/o abióticos que conforman los ecosistemas sin identificar o complejizar las interacciones entre ellos (ver figura 20).

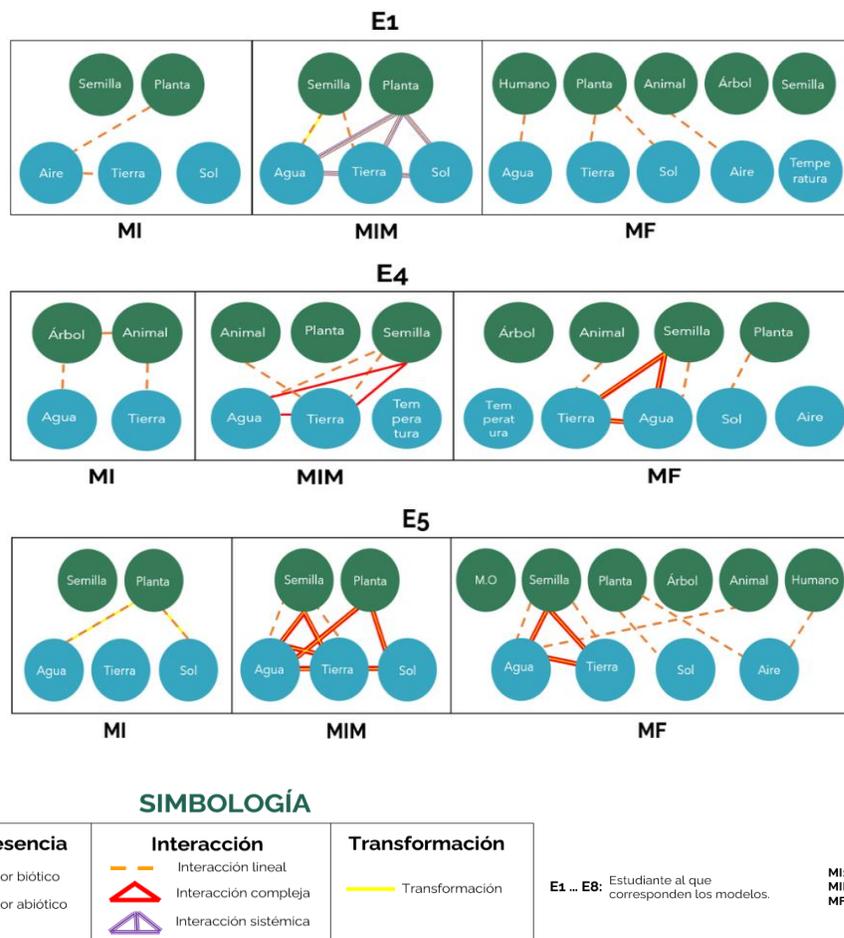


Figura 20

Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en la identificación de componentes.

2) Los estudiantes centran sus esfuerzos en complejizar su razonamiento acercándose a una aproximación sistémica o en identificar una mayor cantidad de interacciones entre los componentes que ya reconocen (ver figura 21).

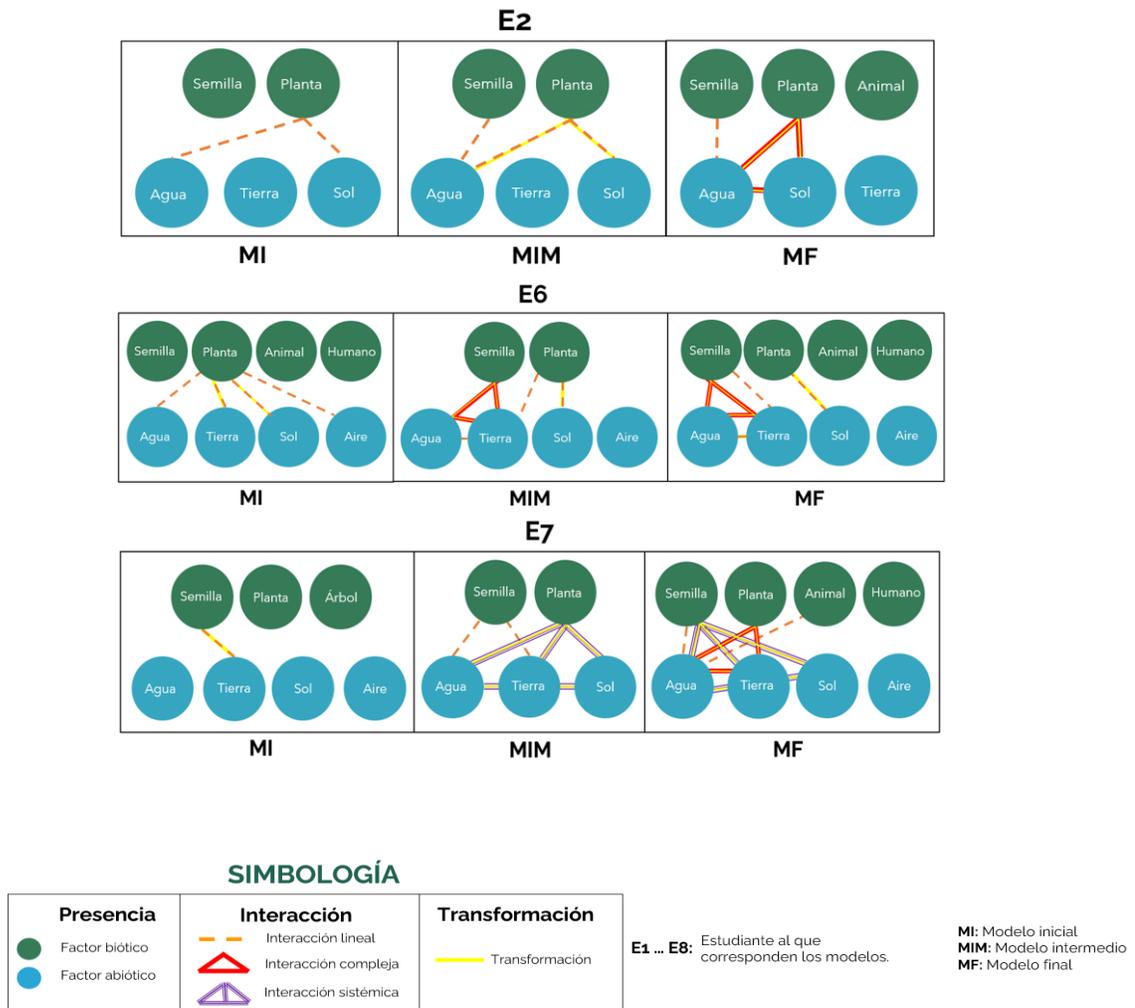


Figura 21

Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en la identificación y complejización de interacciones.

Y, c) hay estudiantes que son capaces de integrar *nuevos* factores que componen un ecosistema y, además, de *complejizar* e identificar interacciones entre estos nuevos componentes (ver figura 22).

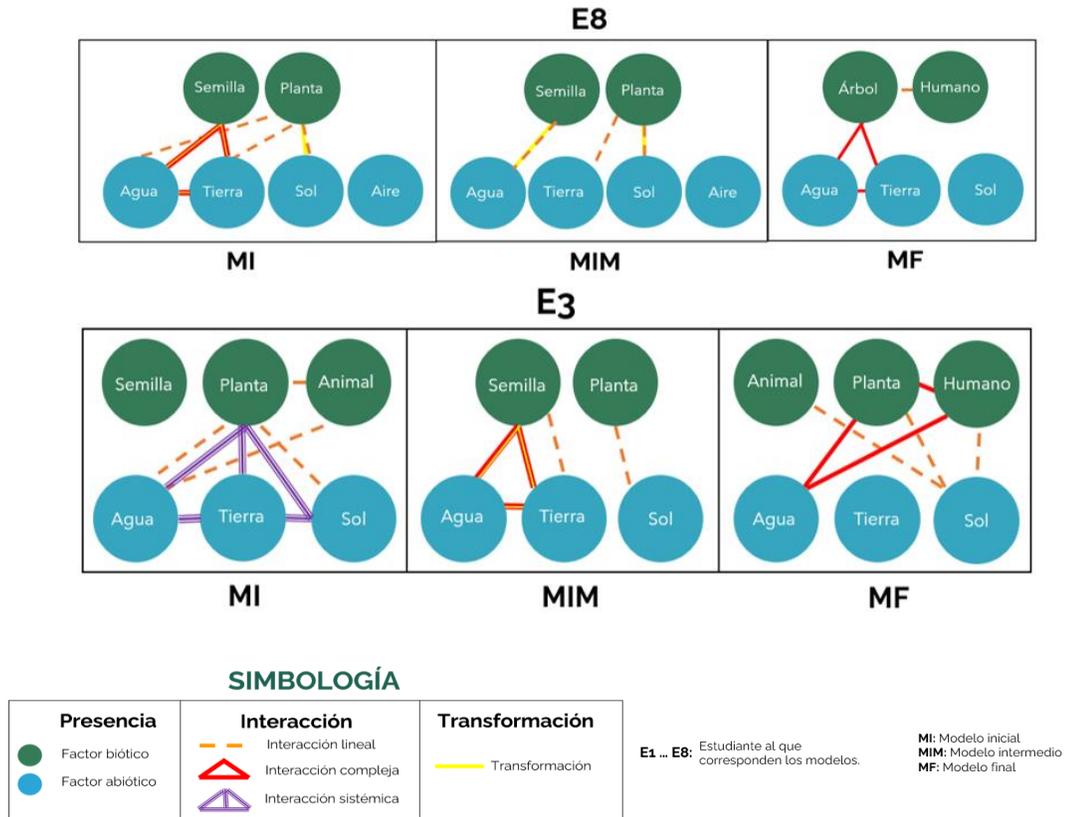


Figura 22

Diagramas de las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes que sugieren un patrón enfocado en identificar nuevos componentes e interacciones complejas entre estos nuevos componentes.

Discusión

Este proyecto de investigación analizó y evaluó la progresión de modelos construidos y expresados por estudiantes de primer grado de secundaria mediante representaciones multimodales (texto y dibujos). Esto a partir de la propuesta de siete categorías integradas por tres ideas clave estructurantes de complejidad ascendente y tres criterios relevantes para la construcción de los modelos. Esto relacionado con las dificultades, reconocidas en la literatura, que tienen los estudiantes para la comprensión de la complejidad e importancia de los componentes bióticos y abióticos que conforman los ecosistemas y las interacciones entre los mismos.

Los resultados obtenidos al analizar las representaciones de los modelos construidos por los estudiantes, relacionados con la categoría *presencia-precisión*, sugieren que existe una evidente progresión en los modelos representados por los estudiantes. En general, se observó que todos los estudiantes lograron reconocer que los ecosistemas están conformados por dos tipos de componentes: bióticos y abióticos. Los clasificaron adecuadamente y utilizaron términos científicos (componentes bióticos y componentes abióticos) para nombrarlos. La identificación de componentes tanto bióticos como abióticos que los estudiantes señalaron en sus representaciones coinciden con los resultados de Maguregui (2013) para los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

Por otro lado, con respecto a la categoría de *presencia-estructura*, los resultados indican que, la mayoría de los estudiantes, en su momento inicial, construyeron representaciones de sus modelos con una estructura de componentes carente, es decir, identificaron una cantidad mínima de componentes bióticos y abióticos que conforman un ecosistema. En el momento intermedio, para las actividades enfocadas en el reconocimiento de los componentes bióticos y abióticos involucrados en fenómenos específicos, germinación de semillas y crecimiento de las plantas, los estudiantes lograron en su mayoría un nivel parcial e incluso adecuado, señalando los componentes

relevantes para estos procesos. En el momento final, al volver a las actividades de carácter general, los estudiantes demostraron un progreso significativo, ya que cinco de ocho de los estudiantes pudieron identificar una cantidad adecuada de componentes bióticos y abióticos que conforman un ecosistema, identificando en los modelos más completos hasta seis componentes bióticos y cinco componentes abióticos. Con relación a los estudiantes que se mantienen en un nivel parcial y carente, cabe mencionar que, aunque la cantidad de componentes que reconocieron es similar a la de sus modelos iniciales, se destaca que distinguieron distintos componentes con relación a los considerados en su modelo inicial. Por lo que se puede asumir que también existe un progreso en la construcción de sus modelos, que, aunque no se refleja en cantidad, sí se refleja en diversidad. Algunos de los modelos iniciales de los estudiantes son similares a la identificación carente de componentes abióticos y bióticos que intervienen en el proceso de germinación reportado por Ruíz y Zapata (2016) en alumnos de quinto grado de primaria. Además, semejante a lo reportado por estos autores y Maguregui (2013), en las representaciones elaboradas por los estudiantes se identificó consistentemente el agua como componente abiótico en todas sus representaciones tanto finales como iniciales, en ambas investigaciones. Inferimos que esto puede deberse a la concientización generalizada sobre la importancia del agua como elemento indispensable para los seres vivos.

En cuanto a la categoría de *interacción-estructura*, inicialmente, los estudiantes identificaron en las representaciones de sus modelos menos de tres interacciones entre los distintos componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas de manera general, es decir, una cantidad carente. Comparando los resultados del análisis de los momentos inicial y final, que abordaron las interacciones de una manera general con respecto a cualquier ecosistema, se puede evidenciar un progreso en los modelos de la mayoría de los estudiantes. Sin embargo, con respecto a los resultados de las representaciones de los modelos intermedios se puede señalar que fue más sencillo para los estudiantes resaltar interacciones entre componentes bióticos y abióticos en

los procesos específicos como la germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

Al evaluar la categoría de *interacción- aproximación sistémica*, los resultados sugieren que, solo tres de los ocho estudiantes reflejan en sus representaciones una aproximación sistémica. En estas se reconoce que los componentes que identificaron interactúan de múltiples maneras entre sí, considerando como mínimo la interacción entre cuatro componentes. Sin embargo, todos los estudiantes en al menos un momento de análisis progresan de una visión lineal a una visión compleja de las interacciones entre componentes que conforman un ecosistema. Cabe mencionar que, los estudiantes que lograron apropiarse de una aproximación sistémica, dos lo lograron durante el momento de análisis intermedio. Consideramos que, este resultado está estrechamente ligado a que en este momento se incluyeron actividades que involucraron la experimentación de los componentes bióticos y abióticos específicos que participan en la germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

Los hallazgos de las categorías interacción-estructura e interacción-aproximación sistémica de esta investigación, son coincidentes con los resultados encontrados por Hui Jin et al. (2019) y Dozier et al. (2023). Específicamente, se observó un aumento en identificación de interacciones y la comprensión de las interacciones desde una perspectiva más compleja que simplemente lineal. Sin embargo, también sus hallazgos señalan que son pocos los estudiantes que logran adquirir una aproximación sistémica de las interacciones que ocurren entre los componentes de un ecosistema. Por lo que, consideramos que implementar estrategias educativas que incluyan actividades prácticas como la implementación de un huerto escolar o salidas de campo a parques o áreas naturales que fomenten la observación y experimentación con distintas interacciones entre componentes bióticos y abióticos sería adecuado para lograr una comprensión sistémica de los ecosistemas por parte de los estudiantes.

También, en relación con los resultados de la categoría de *transformación-precisión*, inicialmente, los estudiantes tienen dificultades para describir los procesos y utilizar los términos adecuados para referirse a las transformaciones que identifican. Incluso más de la mitad de los estudiantes no reconocen transformaciones a partir de las interacciones que ocurren entre los componentes bióticos y abióticos que identificaron. Comparando los resultados del análisis de los momentos inicial y final, se puede evidenciar el progreso en la mitad de las representaciones de los modelos de los estudiantes. Sin embargo, con respecto a los resultados de los modelos intermedios se puede señalar que fue más sencillo para los estudiantes describir los procesos que resultan en transformaciones y emplear los términos adecuados para nombrar estas transformaciones al estar enfocados a fenómenos comunes para ellos, como lo son la germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

Además, los resultados para la categoría de *transformación-estructura* sugieren que, la mayoría de los estudiantes identificaron al menos una transformación en sus modelos iniciales y finales desde una perspectiva general de los ecosistemas. En el momento intermedio de análisis, cuando las actividades se enfocaron en reconocer transformaciones a partir de las interacciones que suceden en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas, todos los estudiantes son capaces de reconocer al menos una transformación. Por lo que, podemos concluir que es más sencillo para los estudiantes identificar transformaciones cuando se les presenta un proceso específico. Sin embargo, incluimos actividades que les permitieran reconocer que son procesos que están inmersos en los ecosistemas. Por ejemplo, la actividad de aplicación, en la que los estudiantes realizaron una lectura sobre una noticia acerca de un incendio ocurrido en San Luis Potosí, en una sierra muy cercana a la escuela. Con esta actividad pudieron valorar las interacciones presentes en un ecosistema y qué ocurre con el ecosistema después de la ocurrencia de un incendio. Los estudiantes, a través de un dibujo y explicación, relacionaron los fenómenos estudiados durante la secuencia

didáctica y la importancia de los ecosistemas, sus componentes e interacciones con el problema planteado ocurrido en su comunidad.

Por otra parte, con respecto a la categoría de *transformación-aproximación sistémica* los resultados sugieren que siete de los ocho estudiantes reconocen en al menos un momento de análisis que las transformaciones que identifican suceden a partir de una interacción compleja entre los componentes bióticos y abióticos que expresan en las representaciones de sus modelos. También, de manera grupal, resultó más sencillo para los estudiantes identificar transformaciones cuando se les presenta un proceso específico, ya sea a partir de interacciones lineales o complejas. Aunque, podemos observar que, en el momento final, las transformaciones identificadas por los estudiantes mostraron interacciones complejas, lo que refleja una progresión significativa de sus modelos al alcanzar la categoría de mayor complejidad. Esta categoría muestra relación con los resultados publicados por Dozier et al. (2023), quienes observaron que los estudiantes señalaron cambios que surgieron a partir de interacciones complejas, sin embargo, presentaron dificultades en reconocer cambios en más de dos componentes basándose en sus relaciones o modificaciones de otros componentes (aproximación sistémica).

Coincidimos con Sánchez y Pontes (2010); Rojero (1999); Bell-Basca et al. (2000) en que los estudiantes tienen una visión simple de la causalidad que se manifiesta en las interrelaciones que existen en los ecosistemas, lo que les dificulta comprender los conceptos relacionados con el ecosistema.

Las representaciones que expresan los modelos de los estudiantes fueron construidas a lo largo de una secuencia didáctica que se implementó y diseñó para guiar el proceso de modelización de los estudiantes de acuerdo con la propuesta de *Etapas de aprendizaje* de Neus Sanmartí (1997). Esta secuencia se caracterizó por el diseño de sus actividades que fueron de lo complejo a lo simple para volver a lo complejo. En donde los momentos iniciales y finales de análisis estuvieron dirigidos a actividades con una perspectiva general con respecto a valorar los componentes, interacciones y transformaciones

presentes en los ecosistemas, y el modelo intermedio estuvo dirigido a valorar los componentes, interacciones y transformaciones involucrados en los procesos de germinación de semillas y crecimiento de las plantas.

Por lo anterior, es importante señalar, que el diseño complejo-específico-complejo de la secuencia didáctica, permitió que los estudiantes en las representaciones de sus modelos iniciales expresaran genuinamente sus ideas iniciales con respecto a los componentes, interacciones y transformaciones que reconocían como parte de un ecosistema.

Mientras que, en los modelos intermedios, los estudiantes valoraron y dimensionaron algunos de los componentes, interacciones y transformaciones específicas que ocurren dentro de los ecosistemas, facilitando la construcción de las representaciones de sus modelos cada vez más cercanos al modelo científico escolar. Para el momento final, al volver al enfoque general, los estudiantes incluyeron las ideas integradas a lo largo de la secuencia. Los estudiantes continuaron identificando los componentes e interacciones con las que tuvieron acercamiento en los procesos específicos. Además, algunos de ellos lograron acercarse a una aproximación sistémica, complejizando sus ideas con respecto a las interacciones entre los componentes de los ecosistemas. Por otro lado, los modelos finales de los estudiantes sugieren que les costó trabajo aplicar las ideas construidas en los procesos específicos a los escenarios generales para continuar construyendo nuevas ideas basadas en los conocimientos previos y las aproximaciones logradas. Consideramos que integrar actividades prácticas como realizar visitas a entornos naturales de su contexto durante la última etapa de la secuencia didáctica, que guíe la construcción de los modelos finales de los estudiantes, les permitirá experimentar de primera mano con los ecosistemas, observando tanto las interacciones previamente estudiadas como nuevas relaciones entre componentes bióticos y abióticos. Esto les ayudará a aplicar el modelo aprendido para desarrollar nuevas ideas y resolver nuevos problemas.

Aunado a esto, la secuencia didáctica diseñada e implementada fue de carácter teórico-práctica. En ella se incluyeron distintas actividades a lo largo

de sus sesiones. Sin embargo, consideramos que las sesiones que incluyeron actividades en las que los estudiantes experimentaron con factores bióticos y abióticos contribuyeron de manera relevante a la construcción de los modelos intermedios. Tras estas sesiones, los estudiantes complejizaron satisfactoriamente sus modelos intermedios o finales con respecto a las categorías de evaluación. Por lo anterior, y coincidiendo con Westra (2008) sugerimos que las actividades experimentales lograron incrementar la motivación, interés y participación por parte de los estudiantes, mejorando la comprensión de la cualidad sistémica de los ecosistemas y fomentando la curiosidad e indagación sobre el mundo natural.

Por lo tanto, debido a las dificultades observadas para aplicar las ideas construidas en los procesos específicos a los escenarios generales y lograr hacer uso de la idea de una aproximación sistémica de las interacciones que suceden en los ecosistemas, consideramos que la implementación de un huerto escolar podría ayudar a aplicar las ideas construidas y seguir incorporando nuevas ideas. Que permitan que los estudiantes construyan modelos estrechos al modelo científico escolar. La experiencia práctica en *el huerto involucra distintos componentes bióticos* y abióticos fuera del aula, facilitando una comprensión más profunda y concreta de la naturaleza sistémica de los ecosistemas. Cabe señalar que, en la secuencia didáctica, inicialmente se incluía la creación de un huerto escolar. Sin embargo, como se relató en el apartado 8.2 de este documento, no pudo lograrse de esa manera por cuestiones relacionadas con el contexto escolar, como el tiempo, las actividades de fin de cursos y el periodo del ciclo escolar en el que la secuencia fue implementada. Estas actividades incluían trasplantar y sembrar las semillas que previamente germinaron y otras especies de plantas en un “huerto escolar” construido y manejado por los estudiantes. El “huerto escolar” tenía como objetivo que los estudiantes observaran y experimentaran directamente las interacciones entre plantas, animales y el entorno, reconociendo de manera específica algunos de los componentes que forman parte de los ecosistemas y las interacciones entre ellos.

Por otro lado, encontramos que caracterizar el modelo científico escolar a partir de las ideas clave estructurantes de presencia, interacción y transformación. Integrando estas ideas con los criterios de precisión, estructura y aproximación sistémica, resulta útil para evaluar adecuadamente las representaciones construidas por los estudiantes con referencia en el modelo científico escolar componentes bióticos, abióticos y sus interacciones en los ecosistemas.

A su vez, reafirmamos la idea de Oliva (2019) que señala que emplear la modelización como progresión de modelos es valioso para los docentes al momento de planificar el apoyo educativo para los estudiantes, facilitando que estos conecten sus ideas y las hagan más complejas. Ya que plantear etapas que permitan la evaluación de la progresión, permite identificar el impacto de las actividades empleadas para la construcción de las representaciones de los modelos de los estudiantes y proponer asertivamente actividades que les permitan a los estudiantes acercarse al modelo científico escolar.

Una de las limitaciones del presente estudio fue la inclusión de indicaciones que guiaron al estudiante a responder de manera concreta y utilizar de palabras clave en el instrumento de evaluación. Esto limitó la posibilidad de expresar representaciones más complejas. Sin embargo, las representaciones obtenidas en dichos instrumentos fueron adecuadas para evaluar la progresión de los modelos con base en las categorías propuestas. Otra limitación del estudio fue la falta de la implementación del huerto.

Los modelos construidos por los estudiantes no se lograron complejizar como era esperado en el que se hiciera uso de una idea de aproximación sistémica al momento de pensar en las interacciones que ocurren dentro de los ecosistemas. La transición del modelo intermedio al modelo final resultó carente, teniendo en cuenta las actividades que efectivamente pudieron implementarse por razones ajenas al diseño, ya que, para lograr los objetivos de aprendizaje propuestos, se había previsto la integración de un huerto escolar que no se pudo implementar.

Este trabajo de investigación representa un esfuerzo importante por aportar en la línea de investigación de la progresión de modelos a partir de distintas estrategias educativas que incluyen actividades experimentales. Destaca cómo la modelización, entendida como progresión de modelos, permite intervenir en la selección de actividades y currículos que impacten beneficiosamente el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

Además, este proyecto nos permitió reforzar la idea de que el progreso de los estudiantes no es lineal y no depende de una sola variable, sino que cada estudiante construye modelos con base en sus ideas y experiencias personales e integran nuevos conceptos e ideas que pueden dirigir hacia distintos esfuerzos para la construcción de un modelo.

Conclusiones

En esta investigación se ha logrado diseñar e implementar una secuencia didáctica de carácter teórico-práctico orientada a permitir que los estudiantes llevaran a cabo procesos de modelización sobre el modelo científico escolar de los componentes bióticos, abióticos y algunas interacciones específicas en los ecosistemas. La secuencia didáctica constó de siete sesiones con una duración de 45 minutos por sesión, en la cual se aplicaron diferentes actividades desarrolladas para ir de lo complejo a lo simple para volver a lo complejo, teniendo como actividad central la observación y experimentación con componentes bióticos (semillas y plantas), componentes abióticos (tierra, luz y agua) y sus interacciones. Esta secuencia ha demostrado ser efectiva para facilitar a los estudiantes la complejización del modelo científico escolar en cuanto a criterios de precisión y estructura. Sin embargo, aunque facilita el progreso del modelo de los estudiantes del uso de una idea lineal a compleja respecto a las interacciones que ocurren en los ecosistemas, los estudiantes solo logran hacer uso de una idea de aproximación sistémica parcial.

Los modelos iniciales de los estudiantes fueron *carentes* en cuanto a precisión, estructura y aproximación sistémica respecto a la identificación de componentes bióticos, abióticos, sus interacciones y las transformaciones que ocurren a partir de estas interacciones. En contraste, los modelos intermedios se caracterizaron por progresar a ser más precisos, lograr una identificación parcial y en algunos casos adecuada de componentes que conforman un ecosistema, sus interacciones y transformaciones, así como progresar de un razonamiento lineal a complejo respecto a las interacciones que ocurren en los ecosistemas. Asimismo, los modelos finales progresaron a ser todos adecuados en cuanto a precisión respecto a la identificación de componentes y la mitad de ellos lograron la precisión al nombrar las transformaciones que ocurren en los ecosistemas a partir de interacciones entre sus componentes. Los modelos finales progresaron parcialmente y en algunos casos adecuadamente en estructura, principalmente en cuanto a identificación de

componentes e interacciones. Además, en estos modelos, los estudiantes lograron progresar a una aproximación sistémica parcial; es decir, pasaron de una visión lineal a compleja, sin alcanzar la aproximación sistémica caracterizada por una visión multicausal de las interacciones que ocurren en un ecosistema. Del mismo modo, los estudiantes lograron adecuadamente explicar las transformaciones que ocurren a partir de estas interacciones complejas.

La comparación de los modelos iniciales y finales señala diferencias importantes en cuanto a precisión y estructura de los modelos, así como un progreso parcial en cuanto a aproximación sistémica.

Identificar y analizar las diferencias entre los modelos iniciales, intermedios y finales de los estudiantes, permitió evaluar la efectividad de las actividades propuestas en la secuencia didáctica.

Este análisis demostró que las actividades experimentales que permiten asimilar algunos aspectos del modelo científico escolar contribuyen de manera significativa a la mejora en la comprensión de los elementos del modelo científico de referencia. Evidenciando un progreso en la capacidad para reconocer interacciones complejas entre los componentes bióticos y abióticos y comprender que a partir de estas surgen cambios en alguno de los componentes o el entorno.

Los resultados obtenidos sugieren que el enfoque de modelización, como progresión de modelos, es una estrategia pedagógica valiosa para que los alumnos profundicen su comprensión de las interacciones en los ecosistemas. Así como una importante oportunidad para reconocer las limitaciones de la práctica educativa y los contenidos abordados, permitiendo mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula de ciencias. Además, este estudio subraya la importancia de integrar actividades experimentales en el currículo escolar para mejorar la comprensión científica y la motivación de los estudiantes.

Perspectivas

De esta investigación emergen algunas perspectivas que vale la pena señalar.

Principalmente, sostenemos la importancia de incluir en el diseño de la secuencia didáctica un huerto escolar (tal como se había previsto y no pudo realizarse por contingencias institucionales) como actividad experimental y desde una perspectiva que asimile aspectos del modelo y que permita aplicar los conocimientos previos adquiridos en la primera parte de la secuencia. Consideramos que el huerto escolar ofrecería un espacio útil para observar y experimentar muchas otras interacciones entre los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema, fomentando la participación activa de los estudiantes.

Además, la incorporación de visitas a entornos naturales, planteadas como actividades de aplicación y orientadas por un nuevo problema podrían ofrecer a los estudiantes una experiencia directa con los ecosistemas, permitiéndoles identificar las interacciones bióticas y abióticas estudiadas tanto en el aula como en el huerto escolar, así como nuevas relaciones no abordadas en esos contextos. Con esto, se pretende que los estudiantes apliquen el modelo construido en un contexto real para abordar nuevos problemas y construir nuevas ideas.

La consideración de estas perspectivas elaboradas a partir de los resultados de nuestra investigación ofrece alternativas que supone una mejora para la enseñanza de las ciencias. Estas acciones no solo podrían enriquecer las experiencias de aprendizaje de los estudiantes, sino que también fortalecerían sus capacidades para comprender y apreciar la complejidad de los ecosistemas y sus interacciones, para aportar a la construcción de una ciudadanía informada y responsable en su relación con el medio ambiente.

Referencias

- Abella-Peña, S. (2021). Modelización en la enseñanza de las ciencias: Una revisión sobre sus aportes entre 1988 y 2020. *EDUCyT*, 2(1), pp.23-48.
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (36), pp.63-76.
- Adúriz-Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C., y Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar. Propuesta de la función 'Modelo teórico'. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra).
- Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de cas. *Revista Científica*, 32(2), pp.193-206.
- Bahamonde, N. y Gómez Galindo, A.A. (2016). Caracterización de modelos de digestión humana a partir de sus representaciones y análisis de su evolución en un grupo de docentes y auxiliares académicos. *Enseñanza de las ciencias*, 34.1, pp.129-147
- Barrabín, J. y Grau, R. (1996). Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 7, pp. 53-63.
- Bell-Basca, B., Grotzer, T. A., Donis, K. y Shaw, S. (2000). *Using domino and relational causality to analyze ecosystems: Realizing what goes around comes around*. Comunicación presentada en Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Nueva Orleans.
- Bermúdez, G. y Lía, A. (2008). La Educación Ambiental y la Ecología como ciencia. Una discusión necesaria para la enseñanza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 275-297.
- Carrasquer-Álvarez, B. y Ponz-Miranda, A. (2023). Conceptions of primary school students and trainee teachers about seed germination. *Revista Biological Education*, pp.1–14.
- Charrier, M., Cañal, P. y Rodrigo, 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), pp. 401-410.

Costillo, E., Borrachero, A. B., Villalobos, A. M., Mellado, V., y Sánchez, J. (2014). Utilización de la modelización para trabajar salidas al medio natural en profesores en formación de educación secundaria. *Biografía*, 7(13), pp.165-175.

Di salvo, A., Romero, N., y Briceño, J. (2009). Estudio de los ecosistemas desde la perspectiva de la complejidad. *Multiciencias*, 9(3), pp.242-248.

Dozier, S.J., MacPherson, A., Morell, L., Gochyyev, P. y Wilson, M. (2023). Una progresión de aprendizaje para comprender las relaciones interdependientes en los ecosistemas. *Sustentabilidad*, 2023, 15, 14212. <https://doi.org/10.3390/su151914212>

García-Rodeja, I., Silva, E. y Sesto, V. (2020). Competencia de estudiantes de secundaria para aplicar ideas sobre el funcionamiento de los ecosistemas. *Enseñanza de las ciencias*, 38(1), pp. 67-85.

García-Ulloa, A. y Bugallo-Rodríguez, Á. (2021). Preconcepciones sobre la biodiversidad y los componentes de un ecosistema de ría del alumnado de 1º de ESO. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 17-32

Garrido, A. y Tena, É. (2017). El uso del ciclo de modelización para trabajar el modelo ser vivo – función relación en el aula de primaria: diseño y análisis de una propuesta. *Enseñanza de las ciencias (Extraordinario)*, pp.1115-1120.

Gilbert, J., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). *Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education*. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.

Gómez Galindo, A.A. (2011, 30 de noviembre). *La enseñanza de la biología en educación básica: Modelización y construcción de explicaciones multimodales* [conferencia]. 1er Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología, Bogotá, Colombia.

- Gómez, A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: la enseñanza y el aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía: Estudios sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13): 101–107.
- González del solar, R. y Marone, L. (2001). The "freezing" of science: consequences of the dogmatic teaching of Ecology. *BioScience*, 51(8), pp. 683-686.
- Hogan, K. y Thomas, J. A. (2001). Concepciones de los estudiantes sobre las interacciones entre ecosistemas: un estudio de estudiantes de secundaria. *Revista de investigación en enseñanza de las ciencias*, 38(2), 218-241.
- Hui, J., Hyo, J., Shin, H., Hokayem., Farah, Q. y Thomas, J. (2019). Comprensión de los ecosistemas por parte de los estudiantes de secundaria: un enfoque de progresión del aprendizaje. *Revista Internacional de Educación en Ciencias y Matemáticas*, 17(2):217-235.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). *Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales*. *Revista de investigación en enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45-59.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., Komorek, M. (2012). The model of educational Reconstruction – a framework for Improving teaching and learning science. En D. Jorde y J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (13–37). Sense Publishers.
- Lehrer, R., Petrosino, A., & Schauble, L. (2014). Structuring error and experimental variation as distribution in the fourth grade. In *Models and Modeling Perspectives* (pp. 131-156).
- Lozano, E., Adúriz Bravo, A. y Bahamonde, N. (2020). Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26. DOI: 10.1590/1516-731320200027
- Maguregui, G. (2013, 9-12 de septiembre). *El modelo de ser vivo: una secuencia indagativa con el alumnado del grado de educación primaria*.

IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, pp.2075-2081.

Marzábal, A., Delgado, V., Moreira, P., Merino, C., Cabello, V., Manrique, F., Soto, M., Cuellar, L., y Izquierdo, D. (2021). Los modelos materia, reacción química y termodinámica como núcleos estructurantes de una química escolar orientada a la formación ciudadana. *Educación química*, 32(4), 109-126.

Matilla, A. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. *Fundamentos de fisiología vegetal*, 2.

Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), pp.1109-1130.

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), pp. 5-24.

Pérez, G., Gómez Galindo, A.A. y González Galli, L. (2023). Multimodalidad y regulación metacognitiva en el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de las ciencias*, 41(1), pp.5-24.

Rojero, F. (1999). Entender la organización. Aspectos didácticos del estudio de los ecosistemas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 20, pp. 55-64.

Ruíz, F. y Zapata, D. (2016, 12-14 de octubre). *Modelos conceptuales sobre germinación de semillas: el caso de dos estudiantes de quinto grado de educación básica primaria* [conferencia]. VII Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias, Bogotá, Colombia.

Rovira, M. y Sanmartí, N., (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (16), pp. 8-20.

Sánchez-Cañete, F. y Pedrajas, A. (2010). La comprensión de conceptos de ecología y sus implicaciones para la educación ambiental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(extraordinario), pp. 275-285.

- Sanmartí, N. (1997). Enseñar y aprender ciencias. Algunas reflexiones. Guía Praxis para el profesorado de la ESO. Ciencias de la naturaleza. Contenidos, actividades y recursos, pp. 9-42.
- Smith, T. y Smith, R. (2007). *Ecología, sexta edición*. Pearson educación.
- Suárez, D. y Melgarejo, L. (2010). Biología y germinación de semillas, en Melgarejo, L (Ed.), *Experimentos en fisiología vegetal* (1a ed., pp.13-25).
- Valdez Castro, P., y Olivares, A. (2017). *La Modelización en la Enseñanza de las Ciencias: Retos y Perspectivas en la Educación Secundaria Mexicana*. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 19(2), 23-42.
- Vidal, M., y Membiela, P. (2013). On teaching the scientific complexity of germination: a study with prospective elementary teachers. *Journal of Biological Education*, 48(1), 34–39.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2013.823881>
- Villamil, J., García, F. (1998). *Germinación de semillas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Westra, R. (2008). Aprendizaje y enseñanza del comportamiento ecosistémico en educación secundaria: Pensamiento y modelado sistémicos en prácticas auténticas. *Contributions from science education research* (pp. 361-374). Springer Netherlands.
- Zangori, L., Li, K., Troy, D., Sadler., y Peel. (2020). Explorar el razonamiento causal de los estudiantes de primaria sobre los ecosistemas. *Revista Internacional de Educación Científica*, 42(11), pp.1799-1817.

Anexos

12.1 Anexo 1

En la figura 31 se muestra la calendarización programada inicialmente de acuerdo con el diseño de la secuencia didáctica y en la figura 32 se muestra la calendarización de la implementación real de la secuencia didáctica con los ajustes necesarios debido a las distintas circunstancias antes mencionadas.

CALENDARIO DE PLANEACIÓN Y DISEÑO INICIAL DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA				
JUNIO 2023				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
			1	2
			Sesión 1. ¿El huerto escolar es un ecosistema?	Sesión 2. ¿Cuáles seres vivos puedes identificar en el modelo huerto escolar?
5	6	7	8	9
			Sesión 3. ¿Cómo y dónde "nacen" las plantas?	Sesión 3. ¿Cómo y dónde "nacen" las plantas?
12	13	14	15	16
			Sesión 4. ¿Todas las semillas que se siembran germinan?	Sesión 4. ¿Todas las semillas que se siembran germinan?
19	20	21	22	23
			Sesión 5. ¿Qué necesitan las plantas para crecer?	
26	27	28	29	30
		Sesión 6. ¡A trasplantar, plantar y sembrar!	Sesión 6. ¡A trasplantar, plantar y sembrar!	
JULIO 2023				
3	4	5	6	7
			Sesión 7. ¿Cuál es la dinámica de nuestro ecosistema?	Sesión 8. ¿Cómo redefinimos ahora un ecosistema y su dinámica?
10	11	12	13	14
			Sesión 9. El peor incendio de la historia de San Luis Potosí.	
17	18	19	20	21
24	25	26	27	28
FIN DE CURSOS				

Figura 23.

Calendario de planeación y diseño inicial de la secuencia didáctica.

CALENDARIO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA				
JUNIO 2023				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
			1	2
5	6	7	8	9
12	13	14	15	16
19	20	21	22	23
		Sesión 1. ¿El huerto escolar es un ecosistema?		
26	27	28	29	30
Sesión 2. ¿Cuáles seres vivos puedes identificar en el modelo huerto escolar?		Sesión 3. ¿Cómo y dónde "nacen" las plantas?		Sesión 4. ¿Todas las semillas que se siembran germinan?
JULIO 2023				
3	4	5	6	7
Sesión 5. ¿Qué necesitan las plantas para crecer?		Sesión 6. ¿Cuál es la dinámica de nuestro ecosistema?		Sesión 7. ¿Cómo redefinimos ahora un ecosistema y su dinámica?
10	11	12	13	14
			Sesión 8. El peor incendio de la historia de San Luis Potosí.	
FIN DE CURSOS				

Figura 24.
Calendario de implementación de la secuencia didáctica.