



SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DESARROLLO EDUCATIVO

***Secuencia didáctica basada en la modelización del flujo de energía en los
ecosistemas: un caso en la educación primaria***

Tesis que para obtener el Grado de
Maestra en Desarrollo Educativo

Presenta

Martha Patricia Albarrán Hernández

Directora de Tesis

Dra. Diana Patricia Rodríguez Pineda

Para la elaboración de esta tesis se contó con el apoyo de una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Para mi persona favorita...

Este documento que habla de la vida y la muerte, lo dedico a ti mamá, porque "... la hojita más pequeña de hierba nos enseña que la muerte no existe; que si alguna vez existió, fue sólo para producir la vida".

Walt Whitman (1855)

- ❖ Hace muchos años, cuando me embarque en la experiencia de cursar una maestría y elegí el flujo de energía en los ecosistemas como objeto de enseñanza, no tenía idea de que inconscientemente me preparaba para entender la muerte; la mía y la de los seres a los que amo, hoy, a unos meses de tu partida, ese ha sido un motivo más para cerrar este ciclo. Finalizar este proyecto que trata de la vida y la muerte desde el punto de vista ecológico, me recuerda que todo fluye y todo cambia, que tu presencia y la mía en la biosfera no es eterna como a veces lo deseáramos, que nuestro tiempo es limitado y hay que honrarlo...
- ❖ Nunca en mi vida había experimentado un dolor tan grande, una ausencia tan profunda y una nostalgia tan desbordante..., sin embargo, creo en la vida y creo en ti; confío en que el trabajo que realizaste conmigo fue excelente, sé que tengo todos los recursos necesarios para seguir adelante aun con tu partida porque no te fuiste de mi vida, ni de mi corazón, ni de mi mente, solo cambiaste de geosistema y un día no sé cuándo yo también lo haré y probablemente nuestros átomos se volverán a juntar y renaceremos nuevamente y te volveré a sentir como antes...
- ❖ Te amo y lo haré eternamente, lo hago con la plena convicción de que estuvimos juntas el tiempo suficiente para enriquecernos mutuamente, fuiste mi mejor compañera de viaje, compartimos lo que debíamos compartir, estuvimos juntas a mi llegada y nunca nos separamos hasta tu partida... me recibiste y te despedí... estoy convencida de que el tiempo vivido valió la pena, no me debes nada ni yo te debo a ti, porque tuvimos una vida de constante crecimiento, llena de amor, de experiencias y de proyectos...

Con todo mi amor, reconocimiento y gratitud para ti "Preciosa Catita" porque cada proyecto concebido, vivido y concluido es tuyo también, porque "...cada átomo de mi cuerpo es tuyo también..."

Agradecimientos

A Patito y Catita porque son parte importante de mi ser, porque lo que soy es el producto de lo que me han aportado ustedes dos y lo que yo he decidido vivir; porque he sido tremendamente afortunada por transitar en esta vida con ustedes.

Mi amor, respeto y agradecimiento infinito para mis papás.

A Juan porque es la persona que me ha recordado permanentemente quien soy y de lo que soy capaz; porque me contiene y me libera cada vez que lo necesito; porque es la persona con la que disfruto existir desde hace 10 años; porque me construyo y reconstruyo cada vez que nos embarcamos en un proyecto nuevo; porque es un placer caminar de su mano; porque nos amamos tanto como la cantidad de números que hay entre el cero y el uno...

A mis hermanos porque me enseñan permanentemente que el mundo no tiene fronteras, que no hay solo una forma de hacer las cosas y que todas son válidas, porque son valientes y se atreven a vivir experiencias que yo no concibo pero que me ilustran mucho, porque somos compañeros de viaje aun con destinos diferentes, por compartir conmigo a sus familias.

Gracias Kathia, Daniel, Claudia, Karina y Ruth.

A mis amigos por su compañía, comprensión y motivación, porque siempre es muy reconfortante intercambiar puntos de vista con ustedes, porque me ayudan a madurar y crecer como persona, porque me abrazan el alma cuando lo necesito.

Gracias Drisdell, Felipe y Humberto.

Agradecimientos

A la Universidad Pedagógica Nacional; a la Maestría en Desarrollo Educativo y a la Línea de Educación en Ciencias por recibirme y acompañarme en mi profesionalización.

A cada uno los doctores que intervinieron en mi formación, porque de lo que me hicieron vivir aprendí mucho; porque invirtieron dos de sus recursos más valiosos en mí, su tiempo y sus conocimientos. Por aceptarme y acompañarme en mi crecimiento como profesora; por enriquecer mis visiones. Gracias Dra. Diana Patricia Rodríguez Pineda, Dr. Ángel Daniel López Mota, Dr. Mario Lorenzo Flores López, Dra. Dulce María López Valentín, Dr. Steiner Valencia Vargas y Dr. David Andrés Sánchez Bonell.

A mis amigos y compañeros de generación, porque disfruté mucho mi estancia en la UPN acompañada de ustedes, por las discusiones, debates y aprendizajes; gracias por las experiencias, los viajes, las comidas y los cafés; por entrar en mi vida y por permitirme entrar en la suya. Gracias Meztli, Mirna, Lourdes, Paola, Isabel y Agnan.

A mis lectores porque sus comentarios y sugerencias enriquecieron mucho mi trabajo. Gracias Dra. María del Carmen Urzúa Hernández, Dr. Francisco Javier Ruíz Ortega, Dra. Mayra García Ruíz, Dr. Mario Lorenzo Flores López y Dra. Diana Patricia Rodríguez Pineda.

Gracias a la vida, que me ha dado tanto...

Contenido

INTRODUCCIÓN

| | |
|--|---------------|
| CAPÍTULO 1. PUNTO DE PARTIDA | 5 |
| 1.1 Niveles de logro en el aprendizaje de las ciencias, revelados a partir de las evaluaciones nacionales e internacionales..... | 6 |
| 1.2 Un problema particular de aprendizaje: el ciclo de la materia y el flujo de energía en los ecosistemas..... | 8 |
| 1.3 ¿Por qué trabajar el flujo energético en los ecosistemas en educación primaria?..... | 11 |
| CAPÍTULO 2. ENCUADRE TEÓRICO | 17 |
| 2.1 Didáctica de las ciencias..... | 18 |
| 2.2 Desarrollo curricular..... | 19 |
| 2.3 Secuencia didáctica..... | 21 |
| 2.4 Visión de ciencia: modelización y ciencia escolar..... | 34 |
| CAPÍTULO 3. CONTRATO METODOLÓGICO | 43 |
| 3.1 Objetivos de la investigación..... | 44 |
| 3.2 Ruta metodológica..... | 44 |
| 3.2.1 Primera fase: Diseño y construcción..... | 45 |
| 3.2.1.1 Construcción de modelos como herramienta metodológica: el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) como hipótesis directriz..... | 45 |
| 3.2.1.2 Diseño de la secuencia didáctica..... | 47 |
| 3.2.1.3 Instrumentos para recolectar información.... | 49 |
| 3.2.2 Segunda fase: trabajo de campo..... | 51 |

| | | |
|---|---|------------|
| 3.2.3 | Prospectiva de análisis..... | 52 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS TEÓRICOS | | 53 |
| 4.1 | El flujo energético en los ecosistemas: visiones distintas que se homogeneizan y tensan para dar origen al MCEA..... | 54 |
| 4.1.1 | La visión de los científicos. Modelo Científico: “Las cadenas alimentarias”..... | 55 |
| 4.1.2 | La visión de los alumnos. Modelo Explicativo Inicial: “El más grande y feroz”..... | 67 |
| 4.1.3 | La visión de la SEP. Modelo Curricular: “Productores, consumidores y descomponedores”..... | 72 |
| 4.1.4 | Hacia dónde ir: Modelo Científico Escolar de Arribo..... | 87 |
| 4.2 | “El flujo energético en el mariposario”. Diseño de la secuencia didáctica..... | 88 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS EMPÍRICOS | | 98 |
| 5.1 | Contextualización. Categorías analíticas..... | 99 |
| 5.2 | Resultados: análisis y discusión..... | 102 |
| 5.2.1 | Funciones de los seres vivos y Modelo Explicativo Inicial... | 102 |
| 5.2.2 | Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio..... | 118 |
| 5.2.3 | Modelo Científico Escolar Logrado..... | 123 |
| 5.3 | Síntesis..... | 133 |
| CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES | | 140 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 148 |

ANEXOS

155

| | |
|--|------------|
| Anexo 1. Fase de iniciación o exploración..... | 155 |
| Anexo 2. Fase de introducción de nuevos puntos de vista..... | 157 |
| Anexo 3. Fase de síntesis..... | 158 |
| Anexo 4. Ejemplo de instrumento 1..... | 160 |
| Anexo 5. Ejemplo de instrumento 2..... | 162 |
| Anexo 6. Ejemplo de instrumento 3..... | 163 |

Introducción

El sistema educativo nacional mexicano está constituido por una amplia diversidad de actores educativos que interpretan roles específicos, a partir de los cuales intervienen institucionalmente en un fenómeno socialmente relevante como lo es la educación formal.

Al interior de este sistema complejo se generan políticas públicas y se diseñan currículos a los que subyacen visiones específicas de enseñanza, aprendizaje y conocimiento; estas dos acciones se concretan en las aulas cuando los profesores encargados de interpretarlas las utilizan para desarrollar sus funciones docentes.

El presente documento, materializa el proceso metacognitivo que ha realizado la autora en su devenir profesional en el que se incluye su formación de posgrado. Este proceso surge como respuesta a la necesidad de enriquecer su práctica docente con la responsabilidad política inherente a la misma; es a partir de ello que se instala en el campo de educación en ciencias.

El campo de investigación de educación en ciencias tiene por objeto de estudio aquellos elementos que permitan mejorar la enseñanza de las ciencias naturales y su aprendizaje en individuos y grupos escolares en diversos niveles educativos a partir de considerar los procesos cognitivos de representación de los alumnos relativos a la adquisición y desarrollo de conceptos, habilidades y actitudes de los estudiantes y su repercusión en distintos aspectos de la educación (López-Mota, 2003).

Dentro de dicho campo, se han constituido diferentes líneas de investigación que tienden a analizar con mayor énfasis algunos elementos asociados al fenómeno educativo. Algunas de estas investigaciones giran en torno al currículo en donde se incluyen aspectos estructurales y de proceso; precisamente, una de estas

líneas corresponde al diseño y desarrollo de estrategias didácticas para la enseñanza de las ciencias naturales.

Esta línea de investigación cobra relevancia sí se parte del hecho de que es el docente el sujeto que incide directamente en el currículo como proceso, ya que es él en última instancia, el encargado de interpretar el currículo como estructura y diseñar e implementar a partir de ello secuencias didácticas encaminadas a lograr un aprendizaje más sólido, significativo, funcional y por tanto efectivo. Con el fin de lograr este propósito, el docente debe reflexionar y analizar su propia práctica a partir de un proceso de metacognición en el que tome conciencia sobre su concepción de ciencia, aprendizaje, enseñanza y, pueda incidir con ello en su desarrollo curricular.

Desde ésta perspectiva, al hablar de la didáctica de las ciencias naturales se hace referencia a la “ciencia del profesor de ciencias” ya que ésta constituye un cuerpo teórico constituido por conocimientos provenientes de la epistemología, la pedagogía, la lingüística y las disciplinas científicas a enseñar lo que posibilita diseñar una actividad científica escolar que pretende enseñar significativamente a diversas audiencias (Adúriz e Izquierdo, 2009).

A partir de lo anterior, el programa de Maestría en Desarrollo Educativo impartida en la Universidad Pedagógica Nacional, Unidad Ajusco pretende formar cuadros profesionales que incidan directamente en la dinámica del fenómeno educativo y propicien la mejora en todas las dimensiones inherentes a él. La intervención educativa que se da a conocer en este documento, se sustenta en la investigación, se enfocó en diseñar, aplicar y evaluar una secuencia didáctica con el propósito de resolver un problema de aprendizaje vinculado con el flujo de energía en los ecosistemas. Metodológicamente se retomaron los aportes de López-Mota (2011) y; López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) quienes plantean que es necesario identificar el modelo al que se espera que los alumnos se acerquen. Este proceder sirvió como guía para el diseño de la secuencia didáctica

que incluyó los cuatro tipos de actividades propuestas por Sanmartí (2002): exploración, introducción de nuevos conceptos, síntesis y generalización.

El fin último de esta investigación-intervención, es que los alumnos construyan un modelo científico escolar que les permita dar cuenta de la transferencia de energía en los ecosistemas, es decir, en las cadenas alimentarias, teniendo como referencia para el diseño de la secuencia didáctica el modelo científico escolar de arriba (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013) y los modelos explicativos iniciales del alumnado.

En relación con lo anterior, el proyecto se concibió a partir de un enfoque constructivista, en particular en el de la ciencia cognitiva de Giere quien retoma la importancia de los modelos para la construcción de teorías que permitan explicar los fenómenos; así como de Izquierdo y Adúriz quienes retoman estos aportes y fundamentan la utilidad de la modelización y la ciencia escolar en el aprendizaje.

Los resultados tienen dos vertientes, la primera es contribuir a que los alumnos construyan un modelo explicativo sobre el flujo de energía en los ecosistemas que posea un carácter evolutivo, se acerque al propuesto por la ciencia erudita y les permita argumentar razonadamente sus explicaciones. Por otro lado, busca contribuir al campo de Educación en Ciencias con una secuencia didáctica que permita mejorar los resultados educativos y que sea susceptible de ser implementada por otros docentes.

Los avances en el proceso de profesionalización de la autora que se exponen en el presente documento están organizados en las siguientes secciones:

Capítulo 1. *Punto de partida. La trascendencia del diseño y desarrollo curricular en el aprendizaje y comprensión de los fenómenos de la naturaleza.* En él se describe el contexto donde se inscribe el problema, se brindan algunos antecedentes y se enuncia la pregunta de investigación; se exponen los argumentos bibliográficos que dan solidez y relevancia al tratamiento del problema de investigación.

Capítulo 2. *Encuadre teórico. El ámbito de la Didáctica de las Ciencias.* Se describen los trabajos o estudios similares realizados en relación al tema de la investigación. Se presentan los fundamentos teóricos referidos al objeto de estudio, se incluye la didáctica de las ciencias, el desarrollo curricular, la estrategia didáctica, la ciencia escolar y la modelización.

Capítulo 3. *Contrato metodológico. Criterios de Diseño Curricular.* Se dan a conocer los objetivos de la investigación, la ruta metodológica empleada y la prospectiva de análisis.

Capítulo 4. *Resultados teóricos. El modelo científico escolar de arribo y la secuencia didáctica.* Se socializan los diferentes modelos inferidos de la revisión de la literatura -Modelo Científico, Modelo Explicativo Inicial y, Modelo Curricular-; se da a conocer el Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- propuesto y se explicita la secuencia didáctica a implementar.

Capítulo 5. *Resultados Empíricos. Trabajo de Campo. Análisis y Discusión.* Se contextualiza la implementación de la secuencia didáctica, se enuncian las categorías analíticas y se dan a conocer los resultados de la implementación, mismos que se analizan a la luz de los aportes teóricos de otros investigadores.

Conclusiones y Consideraciones Finales. Se dan a conocer las conclusiones a las que se llegó con el trabajo de investigación e intervención docente y se proponen algunas sugerencias para futuras intervenciones docentes.

Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas así como los anexos citados en el cuerpo del documento.

Capítulo 1. Punto de Partida

La trascendencia del diseño y desarrollo curricular en el aprendizaje y comprensión de los fenómenos de la naturaleza

Introducción

El siglo XXI representa para los profesores de ciencias un reto profesional con grandes implicaciones sociales considerando el acceso que tienen los alumnos a diversas fuentes de información. El reto consiste precisamente en propiciar que los estudiantes construyan criterios para distinguir entre la información que ofrece explicaciones científicas y la que ofrece explicaciones de sentido común.

Educar en ciencias en este contexto, requiere que los profesores tomen decisiones sobre el diseño curricular y su consecuente puesta en práctica en las clases de ciencias, lo anterior con una clara fundamentación teórica desde la epistemología y la psicología.

Actualmente, la dinámica profesional en que se desenvuelven los profesores, propicia que vivan una realidad compleja con múltiples aristas, por un lado, se encuentran inmersos en un continuo proceso dialéctico, que en la mayoría de los casos viven en soledad; cotidianamente, se cuestionan sobre la eficacia de la enseñanza que brindan y cuando comprueban que existen fallas en la misma modifican empíricamente las actividades o materiales de enseñanza. Sin embargo, difícilmente -por falta de tiempo y actualización- recurren a cuestionar el enfoque implícito en su visión de conocimiento, enseñanza y aprendizaje, esto trae como consecuencia que por más que reestructuren sus secuencias didácticas, los resultados -al tener el mismo origen- siguen siendo los mismos.

Por otro lado, los profesionales de la educación conocen poco los aportes de las investigaciones relacionadas con su campo de trabajo lo cual representa una debilidad al no poder usarlos como insumos que posibiliten el enriquecimiento de su práctica docente.

A partir de lo anterior, y posterior a un proceso de reflexión e indagación es posible que al documentarse y dialogar con otros actores educativos -investigadores, docentes frente a grupo y autoridades- enriquezcan su visión de conocimiento, enseñanza y aprendizaje e identifiquen y propongan posibles soluciones para algunos problemas educativos que enfrentan en sus contextos laborales.

La complejidad educativa, demanda que se expliciten los límites de la investigación y la intervención docente, ello con el claro planteamiento de que esta delimitación no corresponde a una visión simplista y segmentada del hecho en sí, sino por el contrario con la idea de poder abordarlos a partir de variables claramente definidas que permitan realizar acercamientos a la solución de los mismos. Es por ello que en los párrafos posteriores, se define, delimita y justifica el problema objeto de estudio que se aborda en el presente documento.

1.1. Niveles de logro en el aprendizaje de las ciencias, revelados a partir de las evaluaciones nacionales e internacionales.

En México, como en algunos otros países del mundo, la política educativa nacional ha establecido la aplicación de pruebas estandarizadas con el objetivo de evaluar la calidad educativa. En este sentido, se han determinado indicadores de logro académico que permite valorar el desarrollo de los aprendizajes, a partir de lo cual, se han diseñado diferentes instrumentos entre los que se encuentra la prueba ENLACE (Evaluación Nacional del Logro Académico en Centros Escolares) que evaluó anualmente a los alumnos de educación básica, entre el 2007 y el 2014¹ y cuyos resultados permitían diagnosticar el nivel de aprendizaje.

¹ En 2015 se aplicó la prueba PLANEA (Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes) que sustituyó a la prueba ENLACE.

Los resultados obtenidos para el 2012 muestran que en la asignatura de Ciencias Naturales, el 68.6% de los alumnos se encontraban en los niveles de logro insuficiente y elemental y sólo el 31.4% se ubicaban en un nivel bueno y excelente (Secretaría de Educación Pública -SEP-, 2012) esto señala que es necesario indagar con más ahínco sobre lo que representan estos resultados, ya que detrás de los indicadores utilizados se encuentra la complejidad del proceso educativo, misma que engloba los problemas y procesos de aula, las actitudes tanto de los alumnos como de los profesores, los aspectos metacognitivos entre otros.

Por otro lado, los trabajos de monitoreo internacional como el Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes -PISA, por sus siglas en inglés- (OECD-PISA, 2005 en Duit, 2006) aplicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE- revelaron en el 2006 que existían bajos resultados en el área de las ciencias, lo cual se debe a diversos factores, entre ellos, las características de la práctica docente, a partir de lo cual, en muchos países se han realizado varios intentos para mejorar el proceso; uno de ellos corresponde a los aportes de Duit (2006) quien propone un modelo de reconstrucción educativa centrado en cuatro ámbitos principales: a) el análisis de la estructura de los contenidos; b) la investigación sobre enseñanza y aprendizaje; c) el desarrollo y la evaluación de la enseñanza y; d) la investigación sobre cuestiones curriculares y políticas relacionadas con la enseñanza de las ciencias.

En el 2015, los resultados obtenidos en ciencias por los estudiantes mexicanos en esta prueba internacional no mostraron un panorama significativamente diferente a lo reportado en el 2006 (INEE, 2017), se obtuvieron en promedio 416 puntos que sitúan el logro académico por debajo del promedio de los países miembros que es de 493 puntos, lo que señala que los alumnos no alcanzaron el nivel mínimo de competencia (Nivel 2).

Por tanto, lo anterior indica que existen problemas en el aprendizaje de los fenómenos de la naturaleza cuyo tratamiento resulta necesario considerando que es justamente en el ámbito escolar en el que se debe propiciar que los alumnos

desarrollen habilidades asociadas al conocimiento científico; comprendan desde la perspectiva de la ciencia escolar, procesos y fenómenos biológicos, físicos y químicos y; utilicen sus saberes asociados a la ciencia para representar, interpretar, predecir, explicar y comunicar dichos fenómenos. Con el fin de contribuir a dar solución a estos problemas de aprendizaje, se hace patente la necesidad de buscar alternativas y elaborar propuestas nuevas de enseñanza que en el marco del presente documento se abordarán a partir del tercer ámbito propuesto por Duit (2006) que corresponde al diseño y desarrollo curricular, lo cual incluye la elaboración de materiales educativos, actividades y secuencias de enseñanza y aprendizaje; mismas que considerarán como punto de partida las explicaciones iniciales de los alumnos ya que estas dan cuenta de las representaciones que se forman en torno a los procesos naturales y a los conceptos que los describen y explican.

1.2. Un problema particular de aprendizaje: el ciclo de la materia y el flujo de energía en los ecosistemas.

Uno de los problemas de aprendizaje que es posible evidenciar en la educación básica, es el de la dinámica de los ecosistemas, particularmente respecto al ciclo de la materia y el flujo de la energía. Algunas explicaciones iniciales de los alumnos reportadas en la literatura, que dan cuenta de las dificultades de aprendizaje, sobre esta temática se presentan a continuación:

a) Leach, Driver, Scott y Wood-Robinson (1996), publicaron en *International Journal of Science Education* el artículo *Children's ideas about ecology 2: Ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter* en el cual dan cuenta de las ideas previas de los alumnos referentes al flujo de materia en los ecosistemas, los hallazgos que reportan son:

- La visión que se tiene sobre las plantas es heterótrofa. Los alumnos consideran que las plantas toman del ambiente sus alimentos y no reconocen que éstas los sintetizan; en este sentido, identifican al suelo como la fuente de materia para el crecimiento de las mismas. No

reconocen el rol de las plantas en el ciclo de la materia en los ecosistemas.

- Las explicaciones ofrecidas sobre el papel de las plantas en los ecosistemas son de carácter teleológico. Los estudiantes mencionan que las plantas remueven el dióxido de carbono de la atmosfera para beneficiar a los animales y en particular al hombre.
- Los alumnos piensan que los alimentos son usados en el proceso del crecimiento pero no reconocen las contribuciones de la materia que forma el cuerpo de los consumidores.
- No reconocen la existencia de organismos descomponedores. Los alumnos piensan que la materia desaparece durante el proceso de descomposición, Smith y Anderson (1986, citado en Leach *et al.*, 1996) sugieren que es necesario establecer una relación entre la enseñanza del proceso de descomposición y el ciclo de la materia en los ecosistemas.

Con base en estos hallazgos, los investigadores concluyen que sólo un pequeño grupo de niños de 16 años brinda explicaciones similares a las ofrecidas por los científicos con respecto a la fotosíntesis, sin embargo, no encuentran relación entre los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición en el ciclo de la materia en los ecosistemas.

b) Driver, Squires y Wood-Robinson (2000), publicaron el libro *Dando sentido a la ciencia en secundaria*, en él escribieron un capítulo titulado *Las ideas de los niños sobre la vida y los procesos vitales, los seres vivos*. Las autoras recuperan las aportaciones de otros investigadores relacionadas con el concepto de energía y obtienen lo siguiente:

- La energía se asocia con los seres vivos y en particular con los seres humanos. Las palabras que relacionan con este concepto son: salud, alimentos y combustibles. Piensan que los objetos sin vida no necesitan energía.

- Existe un enfoque vitalista en el que se piensa que la energía es necesaria para la vida y lo vinculan con la salud. Por otro lado, le dan una connotación de actividad en el que argumentan que es necesaria para el movimiento.
- Existe un modelo 'almacén' de la energía en el que los objetos tienen energía y son recargables, otros necesitan energía y gastan la que obtienen y, otros son neutros.
- Existe el modelo de 'transferencia de flujo' en el que suponen que es introducida, dada, conducida o transportada y piensan que sale de una cosa y entra en otra.

Lo anterior, permite identificar que los alumnos no reconocen el ciclo de la materia ni el flujo de energía en los ecosistemas, lo cual evidencia un problema de aprendizaje y permite plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida la secuencia didáctica diseñada desde la perspectiva de la modelización y la ciencia escolar, contribuye a que los alumnos reconozcan el papel que juegan los organismos en las cadenas alimentarias y construyan un modelo científico escolar que les permita explicar el flujo energético en los ecosistemas?

A partir de lo anterior, para desarrollar el presente trabajo, se partió del supuesto de que estos problemas de aprendizaje son susceptibles de reducirse al realizar una reestructuración en el diseño y desarrollo curricular por lo cual, se hizo patente la necesidad de diseñar, implementar y evaluar una secuencia didáctica sustentada en la modelización que permitiera a los alumnos construir modelos científicos escolares con los cuales consiguieran explicar el flujo energético en los ecosistemas desde una perspectiva más coherente con los aportes científicos.

1.3. ¿Por qué trabajar el flujo energético en los ecosistemas en educación primaria?

Los seres humanos somos en todo momento de nuestra existencia testigos de un sinfín de fenómenos naturales que acontecen a nuestro alrededor, de algunos somos simples espectadores y de otros somos actores potenciales. Esta situación demanda un proceso cognitivo que nos permita comprenderlos y actuar en consecuencia sobre ellos.

La manera en que los niños y adolescentes explican los fenómenos naturales dista mucho de la que utilizan los científicos, *“hablamos de ‘conocimiento de sentido común’ para los primeros y de ‘conocimiento científico’ para los segundos”* (Duschl, 1997 citado en Gómez y Adúriz-Bravo, 2011, p. 100). Por ejemplo, se sabe que los alumnos utilizan la característica de ‘tener movimiento’ como criterio para designar qué es un ser vivo, sin embargo, la comunidad científica utiliza los términos nutrición, reproducción y relación con el medio para definir un ser vivo.

Lo anterior demuestra que los sujetos tenemos modelos explicativos contruidos al margen de la escuela que conviven con los que se enseñan en ésta, y aunque se reconoce que difícilmente se pueden abandonar los primeros y sustituirlos por los segundos, es posible mediante la enseñanza favorecer el robustecimiento y la coherencia de los primeros en el contexto de la ciencia escolar.

Proponer el diseño y desarrollo curricular en el campo de la didáctica de las ciencias implica interpretar los planes y programas de estudio con un enfoque basado en la ciencia escolar y la modelización, en cuyo caso, se busca atender los problemas de aprendizaje a partir del diseño y la implementación de secuencias didácticas que posibiliten que los alumnos reconstruyan sus modelos explicativos y los aproximen a aquellos propuestos por los científicos.

A la luz de lo anterior, y considerando que como sociedad enfrentamos serios problemas relacionados con el cuidado de los ecosistemas y el acceso a los recursos naturales que de ellos obtenemos, y que las relaciones interespecíficas

en los mismos constituyen el ciclo de la materia y el flujo de la energía en los ecosistemas abordar esta temática surge de reconocer que en la comprensión y explicación de este fenómeno existe un problema de aprendizaje que se constituye como el motivo de esta investigación e intervención y que pretende ser atendido a partir de una secuencia didáctica basada en la modelización.

Los elementos que permiten justificar el tratamiento de dicha problemática con un enfoque de reconstrucción educativa en el ámbito del diseño y desarrollo curricular y fundamentada en la ciencia escolar y la modelización son, por un lado, el plan y programas de estudio de educación primaria y, por otro, los reportes de la literatura del campo de Educación en Ciencias relacionados con el ciclo de la materia y el flujo de la energía en los ecosistemas.

En primer lugar, en el plan y programas de estudio de educación primaria se reconoce la importancia de que los alumnos puedan modelar los fenómenos de la naturaleza, en este sentido, el modelar el flujo energético en los ecosistemas permitirá a los alumnos construir aprendizajes que puedan modificar sus explicaciones iniciales y enriquecer sus modelos explicativos incrementando con ello su comprensión del fenómeno y su capacidad argumentativa sobre el mismo.

La secuencia didáctica propuesta puede resultar importante para la diversidad de estudiantes considerando que construir un modelo científico escolar les permitirá tomar decisiones razonadas en cuestiones que afecten la estabilidad ambiental de su entorno y los ecosistemas, es decir, les aportará elementos para la ciudadanía y les permitirá vincularlo con modelos más complejos del ámbito biológico.

Por otro lado, el análisis preliminar de los materiales curriculares -plan y programas de estudio; libros de texto-, permite evidenciar que en el tratamiento de la temática existen debilidades que justifican la importancia de que sean abordados con mayor profundidad ya que el abordaje que se propone actualmente es somero y bastante complejo considerando que el nivel de abstracción que tienen que alcanzar los alumnos de tercer y cuarto grado -grados en los que se aborda con mayor profundidad el fenómeno- es muy elevado.

La estructura curricular actual, plantea que para tercer grado los alumnos deben conocer la nutrición autótrofa -fotosíntesis- para poder comprender en cuarto grado las cadenas alimentarias. Estos fenómenos son sumamente complejos considerando que se llevan a cabo en un proceso macro y microscópico.

En segundo lugar, con base en los reportes de la literatura en el campo de Educación en Ciencias, resulta relevante abordar este problema, pues por un lado, como se planteó en el apartado anterior, algunas investigaciones evidencian que a pesar de haber abordado en la escuela el tema del flujo de energía en los ecosistemas, las explicaciones de gran parte del alumnado, distan del modelo científico (Leach, Driver, Scott y Wood-Robinson, 1996). Y por otro lado, trabajos más recientes dan cuenta de secuencias didácticas, diseñadas con un enfoque teórico sustentado en la modelización en el contexto de la ciencia escolar, en las que se aborda esta temática, tal como se presenta a continuación:

- a) Gómez, Sanmartí y Pujol (2007) publicaron el artículo *Fundamentación Teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo de ser vivo en la escuela primaria* en la revista *Enseñanza de las Ciencias*. En dicho documento, las autoras fundamentan teóricamente una unidad didáctica que implementaron con alumnos de quinto grado de educación primaria, uno de los fundamentos teóricos se sitúa dentro de la misma línea que la presente tesis, es decir, las autoras retoman la trascendencia de construir con los alumnos un modelo teórico escolar en el marco de la ciencia escolar que les permita transitar del fenómeno a la interpretación teórica, para ello, se valen de un mediador didáctico que en este caso es una maqueta y pretenden que los alumnos interpreten qué ocurre con los seres vivos cuando hay un incendio forestal.

El aporte de esta investigación, respecto a la importancia de atender el problema que se presenta en el aprendizaje y comprensión del flujo energético en los ecosistemas, es que las autoras presentan dicho fenómeno como parte constitutiva de modelo de ser vivo que trasciende el

estudio tradicional en el que se relacionan las estructuras, los órganos y los sistemas con sus funciones, lo que permite el tratamiento de este modelo de una forma lineal y causal simple dejando de lado que los seres vivos son sistemas complejos en constante interacción con su medio donde las estructuras y la dinámica de las funciones interactúan, es decir, que existe una interdependencia entre los seres vivos y el medio.

- b) Puig, Bravo y Jiménez (2012), publicaron el libro *Argumentación en el aula: Dos unidades didácticas*. En esta publicación, las autoras describen una secuencia didáctica titulada *Argumentación en el aula: Uso de pruebas y modelización sobre la transferencia de energía en los ecosistemas*. En ella, las autoras ejemplifican cómo es posible crear ambientes de aprendizaje para promover la argumentación y las prácticas discursivas en ciencias. El diseño de la unidad didáctica está dirigido a alumnos de entre 15 y 16 años de edad, y buscan promover el desarrollo de las competencias en el uso de pruebas y explicación de los fenómenos utilizando el modelo científico del flujo de energía en la gestión de recursos. Pretenden propiciar que los alumnos usen pruebas en la toma de decisiones.

El objetivo en términos de modelización es ayudar a los alumnos a construir significados sobre el proceso de transferencia de energía entre los niveles tróficos del ecosistema. A través de la simulación pretenden que los estudiantes sean capaces de conectar esas nociones y modelos teóricos abstractos con objetos y procesos más concretos.

Las autoras justifican la importancia de modelar el flujo energético en los ecosistemas a partir de la relevancia que la comprensión de las consecuencias que el mismo posee en relación a la gestión de los recursos, es decir, este modelo, implica que los alumnos entiendan las cadenas y pirámides tróficas como estructuras que representan cómo se transfiere la energía entre los seres vivos. Para ello, es necesario que reconozcan que la energía utilizada en los ecosistemas procede inicialmente del sol y es

transformada en energía química por los productores a través de la fotosíntesis; la energía química es almacenada en moléculas orgánicas a lo largo de la cadena trófica; y sólo una pequeña proporción de la energía de un nivel trófico estará disponible para el siguiente nivel, mientras que la restante es consumida en el mantenimiento a través de la respiración o se pierde debido a un consumo incompleto y a dificultades en la asimilación.

Los resultados obtenidos tras la implementación de la unidad didáctica fueron:

- La construcción del modelo representó dificultades para los alumnos debido a que la energía es una noción abstracta.
 - Los alumnos presentaron mayor tendencia a construir modelos sobre 'quién come a quién' que representa un fenómeno 'activo' y concreto; y menos tendencia a la construcción de modelos sobre la 'transferencia energética' que es más 'pasivo' y abstracto.
 - Los alumnos tuvieron dificultades en el uso de pruebas para tomar decisiones relacionadas con la gestión de recursos.
- c) Martínez (2013), en su Tesis de Maestría titulada *Estrategia didáctica para promover la construcción del modelo de nutrición de las plantas verdes en la escuela primaria*, hace explícito el problema de aprendizaje que presentan los alumnos de educación primaria en torno a la comprensión de la nutrición en las plantas verdes, es decir, al proceso fotosintético.

El aporte de este autor cobra relevancia para el presente documento, en la medida en que justifica la modelización de la nutrición de estos seres vivos debido a que ecológicamente se ubican en la base de las cadenas alimentarias, lo cual representa el comienzo del flujo energético en los ecosistemas, además de que el enfoque con el que aborda dicho problema de aprendizaje, se ubica en la misma línea teórico-metodológica -de diseño y desarrollo curricular- que la presente tesis.

Los resultados que el autor obtuvo con respecto a los modelos logrados por los alumnos le permiten concluir que usando este enfoque de enseñanza, los estudiantes transitan de un modelo “heterótrofo terrestre” en el que las plantas se alimentan de lo que son capaces de absorber o ‘comer’ a través de sus raíces, a un modelo ‘autótrofo’, es decir, que son capaces de producir su propio alimento haciendo uso del agua, el dióxido de carbono y la energía solar.

A partir de lo anterior, el proyecto de investigación e intervención docente que aquí se socializa pretende demostrar la viabilidad de enseñar Ciencias Naturales en la escuela primaria a partir de un enfoque ubicado en el campo de Educación en Ciencias con las implicaciones epistemológicas, cognitivas y curriculares que el mismo conlleva y que en este caso se materializa en el diseño, implementación y evaluación de una secuencia didáctica sustentada en la modelización que les permita a los alumnos transitar de sus modelos explicativos iniciales sobre el flujo energético en los ecosistemas a unos más robustos y coherentes con las explicaciones que emanan desde la Ecología.

Capítulo 2. Encuadre Teórico

El ámbito de la Didáctica de las Ciencias

Introducción

La enseñanza tiene lugar en un ambiente muy complejo. Para ser eficaz, el profesor, debe propiciar un ambiente de aprendizaje idóneo; dicha situación, le demanda una constante toma de decisiones que abarcan el diseño, la implementación y la evaluación de la instrucción, es decir, una toma de decisiones orientada a elaborar un diseño curricular activo e interactivo en el que se incluyan al alumno, el ambiente de aprendizaje y la naturaleza de la materia de enseñanza (Duschl, 1997).

Intervenir en el fenómeno educativo desde el desarrollo curricular demanda que el docente reflexione y problematice su práctica, este proceso, indudablemente lo lleva a tomar conciencia sobre sus referentes teóricos que son los *'lentes'* con los cuales puede leer e interpretar su realidad; esta toma de conciencia generalmente es seguida de una necesidad imperiosa de enriquecer dichos referentes lo que le permite reestructurar y recolocar la mirada sobre el fenómeno en cuestión.

En este sentido, he denominado a este segundo capítulo *'Encuadre Teórico'* considerando que los referentes que aquí presento materializan el enriquecimiento de mi visión sobre el fenómeno educativo por lo que representan los resguardos provisorios que me permiten reflexionar, explorar, comprender e intervenir en el campo; estos referentes poseen las características de un andamio que no es estático de ninguna forma pero que representan el sostén que da sentido a este proceso de visitar y cuestionar dicho fenómeno.

A partir de lo anterior, en los siguientes párrafos comparto con el lector los elementos teóricos necesarios que le permitan comprender desde dónde me permito analizar, interpretar e intervenir en el aula para atender el problema planteado en el capítulo uno; con tal finalidad, ofrezco elementos de corte curricular por lo que incluyo aspectos relativos a la didáctica de las ciencias y el desarrollo curricular; elementos epistemológicos en los que amplío mi visión de ciencia y, elementos cognitivos, por lo que hago referencia a la ciencia escolar y la modelización.

2.1 Didáctica de las ciencias

La didáctica de las ciencias o educación en ciencias² es un campo de estudio cuya premisa fundamental es que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias pueden mejorarse a partir de sus aportes; su conformación ha tenido lugar desde la segunda mitad del siglo XX; su objeto de estudio y aproximaciones metodológicas poseen elementos teóricos provenientes de diversas disciplinas -psicología, ciencias cognitivas, sociología, antropología, epistemología y disciplinas científicas como la física, química y biología-, a partir de las cuales se desarrollan marcos teóricos que proveen de elementos explicativos coherentes con los que es posible enfrentar los diferentes fenómenos de la apropiación y construcción del conocimiento científico (López-Mota y Waldegg, 2002).

La didáctica de las ciencias no se limita solamente a cómo enseñar los contenidos científicos, más bien busca trascender esta visión simplista y propiciar la comprensión del fenómeno educativo en su complejidad, es a partir de ello que incluye reflexiones sobre los saberes tanto el científico como el de los estudiantes en el contexto del salón de clases (Johsua y Dupin, 1993 citado en López-Mota y Waldegg, 2002).

² En este documento se considerarán los términos Didáctica de las ciencias y Educación en ciencias como sinónimos, sin embargo, cabe aclarar que la primera proviene del francés *Didactique des Sciences* y la segunda del inglés *Science Education*. Ambos términos provienen de tradiciones diferentes y privilegian distintos elementos del fenómeno educativo, sin embargo, dicha cuestión no se desarrollará en el cuerpo del documento ya que no es objeto del mismo.

La didáctica de las ciencias se ocupa de los contenidos de enseñanza, la reflexión sobre las maneras de aprender de los alumnos, la detección de dificultades en el aprendizaje y las resistencias a cambiar de concepciones. En este sentido, la originalidad no se sitúa en las innovaciones de cómo enseñar, sino en que la innovación se centre en quién aprende y sus interacciones con la ciencia. Así las aportaciones introducidas no son tratadas en términos de enseñanza, sino en términos de aprendizaje trascendiendo del cómo enseñar las ciencias al cómo hacer que se aprendan las ciencias (Giordan, 1983 citado en López-Mota y Waldegg, 2002).

Las propuestas surgidas de la didáctica de las ciencias integra tres tipos de reflexiones: una de naturaleza epistemológica, que concierne a los conocimientos científicos, otra de naturaleza psicológica, relacionada con los procesos individuales de apropiación de los conocimientos, y finalmente, una de naturaleza pedagógica que pone en relación las dos anteriores en el contexto del aula (López-Mota y Waldegg, 2002).

2.2 Desarrollo curricular

Asumir una perspectiva constructivista sobre el aprendizaje tiene implicaciones sobre la forma en que se concibe el currículo, en este sentido, se considera que es el alumno quien construye su propio conocimiento y los significados que construye o enriquece dependen tanto de lo que él mismo aporta así como de lo que aporta la situación.

Driver y Oldham (1997) definen el currículo a partir de un enfoque constructivista como el *“conjunto de experiencias de aprendizaje que permiten al alumno desarrollar su entendimiento”* (p. 120). En este enfoque, no se le ve como un cuerpo de conocimientos o habilidades sino como el programa de actividades de las que es posible que se derive la construcción de tal cuerpo de habilidades o conocimientos. Aceptar lo anterior, y reconocer que lo que el individuo construye depende en gran medida de lo que éste aporta a la situación constituyen un problema empírico ya que sólo *in situ* es posible saber si los alumnos están

otorgando sentido a las experiencias que se les ofrecen. En este sentido, el desarrollo del currículo representa un proceso de reflexión empírica.

El modelo de desarrollo curricular que se retomó y modificó³ según nuestro particular punto de vista sobre el aprendizaje es el de Driver (1988) mismo que se esquematiza en la Figura 1 e incluye cuatro tipos de entradas: la primera se refiere a los contenidos en donde es posible especificar las experiencias a las que se va a exponer a los alumnos y pueden sugerirse qué ideas deben de construir a partir de estas experiencias.

La segunda entrada corresponde a la información que debemos poseer sobre las ideas que aportan los alumnos a la situación de enseñanza, estas se retoman principalmente del análisis de la literatura en donde se documenta el predominio de lo que los individuos piensan sobre un fenómeno.

La tercera entrada, implica no sólo conocer de dónde parten los alumnos, es necesario saber a dónde ir, lo que implica tomar decisiones sobre el tipo de contenidos, en nuestro caso particular este elemento directriz lo aporta el Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- y, finalmente, la cuarta entrada requiere que se posean criterios de diseño curricular -los dos últimos elementos se desarrollarán a profundidad en el capítulo tres-.

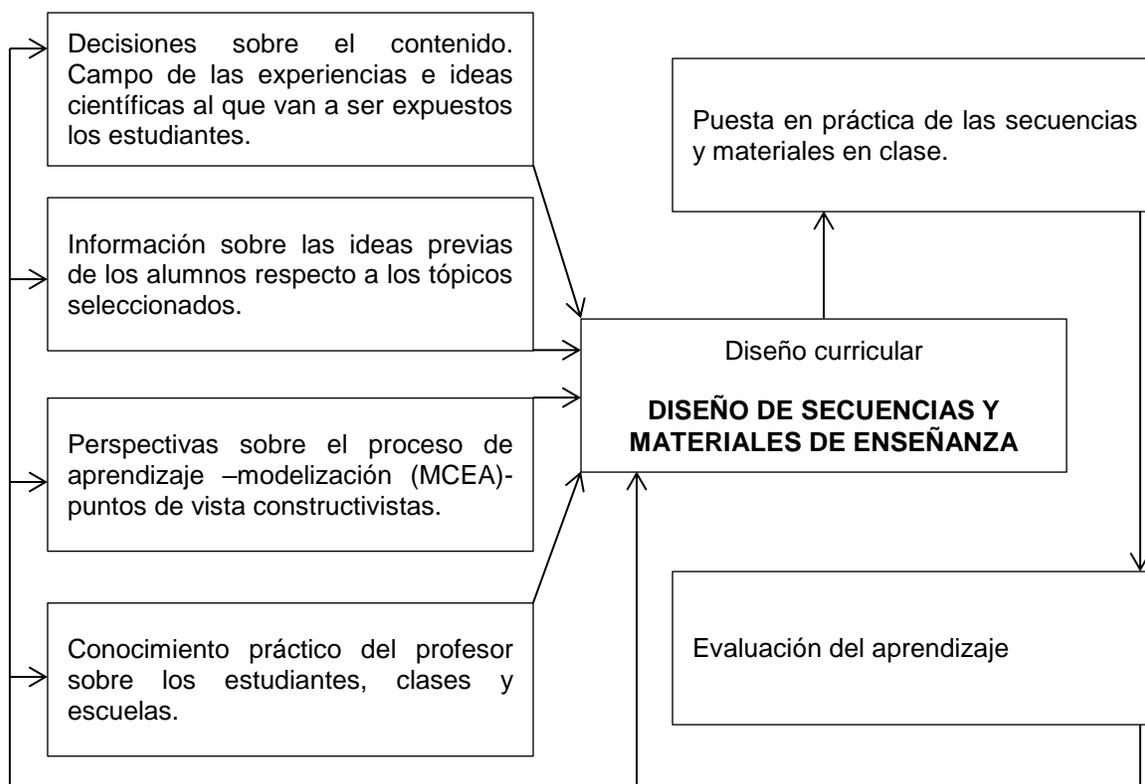
Conocer la efectividad de este proceso de desarrollo curricular, es posible sólo mediante la puesta en práctica y evaluación del mismo, ello posibilita la reestructuración de los materiales, perspectivas y asunciones teóricas lo que demanda del docente un proceso metacognitivo.

En resumen, el desarrollo curricular implica el diseño, desarrollo e intervención de programas, secuencias y materiales didácticos, dirigidos a diversas poblaciones

³ Cabe aclarar que los autores de dicho modelo se posicionan también en una perspectiva constructivista al igual que el presente trabajo, sin embargo, su perspectiva del aprendizaje se aproxima al cambio conceptual y en el caso nuestro a la modelización, en este sentido, se retoma su aportación al campo de la didáctica de las ciencias pero existen claras diferencias con respecto a la visión sobre el aprendizaje.

estudiantiles que permiten elevar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Rodríguez, López-Mota, López y Flores, 2013).

Figura 1. Modelo constructivista para el desarrollo del currículo.



Fuente: tomado y modificado de Driver (1988, p.117).

2.3. Secuencia didáctica

El desarrollo curricular se materializa en el diseño e implementación de un dispositivo didáctico que el profesor propone con la finalidad de promover que sus alumnos construyan sus conocimientos. Dicho dispositivo es conocido como secuencia didáctica e implica seleccionar actividades didácticas acordes con los objetivos propuestos y distribuirlas en el tiempo; esta selección se encuentra relacionada con los aprendizajes que los alumnos deben construir. La construcción de este instrumento de enseñanza y aprendizaje se encuentra impregnada de la visión de ciencia, enseñanza y aprendizaje que tiene cada docente, y repercuten en las decisiones que toma sobre su diseño.

En el campo de didáctica de las ciencias, es posible analizar y retomar algunos elementos de las aportaciones teóricas realizadas por diferentes autores, así como sus posturas frente a la toma de decisiones en el diseño de secuencias didácticas, mismos que se desarrollan a continuación.

De acuerdo con Sanmartí (2002), es posible encontrar posturas sustentadas en un enfoque tradicional, en el que el acento recae en cómo transmitir más conocimientos en menos tiempo, es decir, las actividades están centradas en el profesor, en este caso, se da poca importancia a la actividad -cognitiva- que realiza el alumno mientras tiene lugar la explicación del docente y se priorizan actividades de tipo manipulativo para los estudiantes, no se tiene en cuenta cómo se introducen ni cómo se relacionan con otros conocimientos.

En los criterios utilizados para la selección de las actividades, se privilegian cualidades como la motivación del alumno para que se lleve a cabo fácilmente la aplicación de las mismas. No se analiza la relación entre el tiempo empleado y la utilidad para el aprendizaje, es decir, una actividad 'motivadora' siempre se considera interesante desde el punto de vista didáctico aunque su significatividad en el proceso de aprendizaje sea discutible.

En general, la secuencia de actividades presenta la siguiente estructura:

1. Explicación o lectura del contenido del libro de texto.
2. Preguntas orales para aclarar los aspectos que no se hayan comprendido bien.
3. Realización de alguna actividad práctica con la finalidad de comprobar lo que se explicó previamente.
4. Respuesta a ejercicios o problemas en los que los alumnos han de aplicar las ideas o procedimientos explicados.

En este caso, el alumno se encuentra con una actividad cognitiva muy pasiva y sus aprendizajes se enriquecen poco.

Por otro lado, existen metodologías que suponen ser más innovadoras porque mediante la secuenciación de las actividades, se pone en contacto al alumno con el conocimiento científico y sólo se pretende que éste sea capaz de comprenderlo e incorporarlo.

Desde esta perspectiva, la secuencia de actividades tiene la siguiente estructura:

1. Selección de un tema objeto de estudio propuesto por el profesor o por los alumnos.
2. Búsqueda de información en libros o internet por parte de los alumnos, complementada por la explicación del profesor.
3. Elaboración de documentos, en los que los alumnos reproducen y sistematizan la información recogida que les parece más interesante.
4. Presentación del trabajo escrito al profesor o exposición a los compañeros.

Se espera que con las actividades anteriores, el alumno tenga a su alcance conocimiento científico y solo tenga que estudiarlo para no olvidarlo. Sin embargo, los resultados obtenidos en las evaluaciones de diagnóstico internacional sobre el aprendizaje de las ciencias sustentados en un enfoque tradicional son muy bajos, es por ello, que en el campo de la didáctica de las ciencias, se han generado nuevos enfoques teóricos, que han evidenciado la necesidad de replantear los diseños didácticos y mover el énfasis de la enseñanza centrada en el profesor a la enseñanza centrada en el que aprende.

En este sentido, un planteamiento intermedio es el que realizan Sánchez y Valcárcel (1993) ya que abordan el diseño y desarrollo curricular desde una perspectiva que incluye tanto lo que hace el profesor como lo que hacen los alumnos y lo engloban en la idea de planificación de la enseñanza, misma que representa una lista flexible de acciones centradas en los contenidos y las actividades de enseñanza mismos que tienen implícitos los objetivos o metas a lograr.

Los autores proponen un modelo de diseño curricular que atienda tres elementos básicos: el contenido, los resultados esperados y las actividades. En función de ello, plantean cinco tareas que deben desarrollar los docentes:

1. Análisis científico: permite estructurar los contenidos de enseñanza y brinda actualización científica al profesor.
2. Análisis didáctico: permite delimitar las condicionantes del proceso de enseñanza y aprendizaje, el énfasis se da en la capacidad cognitiva del alumno por ser este factor determinante de lo que es capaz de hacer y aprender en cualquier situación. Se consideran los conocimientos previos sobre el tema y el nivel de desarrollo operatorio donde se encuentran los alumnos en relación con las habilidades intelectivas necesarias para la comprensión del fenómeno en cuestión.
3. Selección de objetivos: son los aprendizajes que se desea favorecer en los alumnos, tienen como referencia el nivel educativo y está dirigida por los contenidos relevantes implicados en el desarrollo del esquema conceptual.
4. Selección de secuencias didácticas: son normas de actuación eficaces para el logro de los objetivos propuestos. Incluye sus planteamientos metodológicos -naturaleza de la ciencia, naturaleza del proceso enseñanza aprendizaje y la función del sistema educativo-; secuencia y actividades de enseñanza que indiquen la ruta de aprendizaje e incluyan fase de iniciación, fase de información, fase de aplicación y fase de conclusión; así como los materiales de aprendizaje.
5. Selección de estrategias de evaluación: requiere tomar decisiones sobre los instrumentos y criterios de aprendizaje coherentes con la selección de objetivos.

Por otro lado, existen otros planteamientos teóricos que permiten realizar una aproximación más cercana al diseño de secuencias didácticas a partir de un enfoque constructivista.

López-Mota (2002, citado en López-Mota, Rodríguez, Reyes, Flores, Martínez y López, 2012) entiende por secuencia didáctica todas aquellas maneras de proceder docente -etapas o fases seguidas en una secuencia de enseñanza-fundamentadas en desarrollos teóricos y validadas.

Desde el enfoque constructivista, el diseño y desarrollo de secuencias didácticas pueden tener dos sustentos teóricos (López-Mota *et al.*, 2012), uno enmarcado en el cambio conceptual desarrollado teóricamente por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) e implementado en la propuesta de estrategias de enseñanza de Driver (1988); y otro desde el enfoque de la modelización propuesto por Sanmartí (2002).

El aprendizaje por cambio conceptual (Posner *et al.*, 1982), es explicado a partir de una analogía realizada con la filosofía de las ciencias la cual explica que para que exista un cambio conceptual en ciencias existen dos fases.

En la primera de ellas, los científicos desarrollan su trabajo teniendo como base unos compromisos centrales que les permiten organizar su investigación, estos compromisos definen los problemas, indican las estrategias a utilizar para tratar con ellos y especifican los criterios que les permiten ofrecer una solución. Estos compromisos son denominados como paradigmas y permiten generar programas de investigación diseñados para aplicarlos y defenderlos de la experiencia.

La segunda fase del cambio conceptual ocurre cuando estos compromisos centrales necesitan una modificación que representa para los científicos un reto a sus supuestos teóricos y se ven en la necesidad de adquirir nuevos conceptos y una nueva forma de ver el mundo, ello constituye un cambio en los programas de investigación y da origen a un cambio conceptual.

En el caso del aprendizaje, los alumnos utilizan conceptos ya existentes para trabajar con nuevos fenómenos, esto es conocido como 'asimilación'⁴, sin

⁴ Los términos 'asimilación' y 'acomodación' en el contexto del cambio conceptual no tiene relación con los planteamientos teóricos desarrollados por Piaget.

embargo, cuando los conceptos preexistentes son inadecuados para permitir comprender los fenómenos satisfactoriamente el sujeto debe reemplazar o reorganizar sus conceptos centrales, lo cual se denomina 'acomodación'.

Para que exista un proceso de acomodación existen cuatro condiciones previas:

1. Debe existir insatisfacción con las concepciones existentes, es decir, el alumno, debe tener conciencia de que los conceptos vigentes no le permiten resolver satisfactoriamente algunos problemas, debe por lo tanto generarle un conflicto cognitivo.
2. Una nueva concepción debe ser inteligible, el sujeto debe ser capaz de captar cómo puede el nuevo concepto estructurar la experiencia suficientemente como para explorar las posibilidades que brinda.
3. Una nueva concepción debe aparecer como verosímil inicialmente, cualquier nuevo concepto que se adopte debe parecer que tiene la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores, de otro modo, no aparecerá como una elección posible.
4. Un nuevo concepto debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero, es decir, debe ofrecer la posibilidad de extenderse a nuevas áreas de investigación.

La acomodación no es un cambio abrupto de conceptos, más bien, representa un ajuste gradual de las propias concepciones, de modo que cada nuevo ajuste sienta las bases de ajustes posteriores, es un proceso cuyo resultado es la reorganización sustancial de los propios conceptos centrales.

A partir de lo anterior, es posible decir que enseñar ciencias proporciona una base racional para el cambio conceptual o dicho de otro modo, las anomalías -generan insatisfacción- que se presentan en las clases, generan un conflicto cognitivo en el estudiante que lo prepara para una acomodación.

En este sentido, las secuencias didácticas deben exponer a los alumnos a anomalías que sean generadoras de conflictos cognitivos. Los docentes deberán

pasar una parte importante del tiempo diagnosticando los errores de pensamiento en los estudiantes así como las acciones que estos utilizan para resistir la acomodación y proponer estrategias que permitan reducir las interferencias con la acomodación y que le permitan dar al alumno sentido al contenido científico representado de múltiples formas.

En este contexto, Driver, Guesne y Tiberghien (1989) plantean que para poder planificar la enseñanza no solo es preciso conocer la estructura del tema, sino que también se deben tener en cuenta las ideas de los alumnos que nos permitan identificar sus puntos de partida, ya que ello permitirá proponer actividades que contradigan o amplíen el marco de aplicación de las mismas, lo que posibilitará el aprendizaje conceptual.

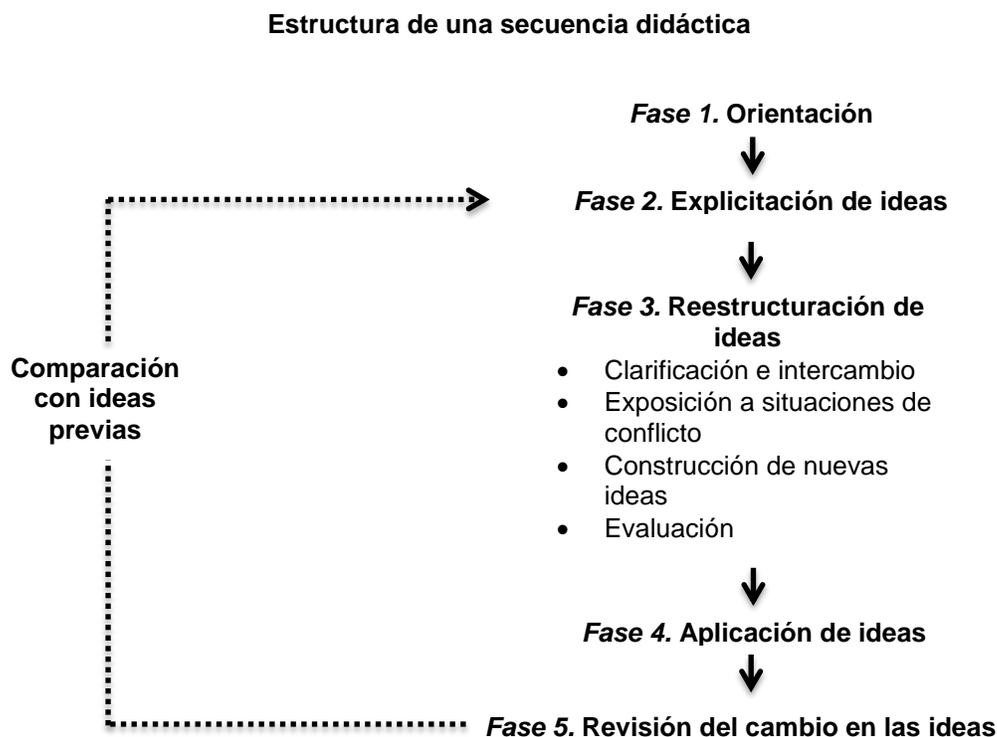
Las actividades didácticas propuestas deben tener las siguientes finalidades:

1. Dar oportunidad a los alumnos para que pongan de manifiesto sus ideas a partir de conversaciones o de representaciones escritas o gráficas.
2. Introducir hechos discrepantes que promuevan el pensamiento sobre esa situación. El conflicto cognitivo puede llevar a que el alumno se sienta insatisfecho con sus ideas y sienta la necesidad de modificarlas.
3. Plantear socráticamente preguntas. Cuando las ideas de los alumnos son incoherentes y sin relación, el planteamiento de preguntas puede ayudarles a descubrir la posible falta de coherencia en su pensamiento y a reconstruir sus ideas de forma más adecuada.
4. Estimular la formulación de un conjunto de esquemas conceptuales. Los alumnos deben dar sentido a las cosas por sí mismos, deben estar activamente involucrados en la reflexión sobre su propio pensamiento, por lo que este tipo de actividades debe permitir que tengan en cuenta un conjunto de posibles interpretaciones de los hechos y traten de evaluarlas por sí mismos; además de que será posible la creación de esquemas conceptuales alternativos.

5. Emplear las ideas en un conjunto de situaciones. Generalizar las ideas permitirá que los alumnos las empleen y comprueben el ámbito y los límites de aplicación de las mismas, lo cual acrecentará su confianza en ellas al considerarlas útiles.

En términos de lo anterior, una secuencia didáctica sustentada teóricamente en el cambio conceptual presenta cinco fases (Driver, 1988) representadas en la Figura dos: 1) fase de orientación; 2) fase de explicitación de ideas; 3) fase de reestructuración de ideas; 4) fase de aplicación de ideas y 5) fase de revisión del cambio en las ideas.

Figura 2. Estructura de una secuencia didáctica sustentada teóricamente en el cambio conceptual.



Fuente: tomado y modificado de Driver (1988, p.117).

La fase uno -orientación- está destinada a despertar la atención de los estudiantes y su interés por el tema. La fase dos -explicitación de ideas- permite que los alumnos expresen, comenten, presenten y discutan sus propias ideas o modelos,

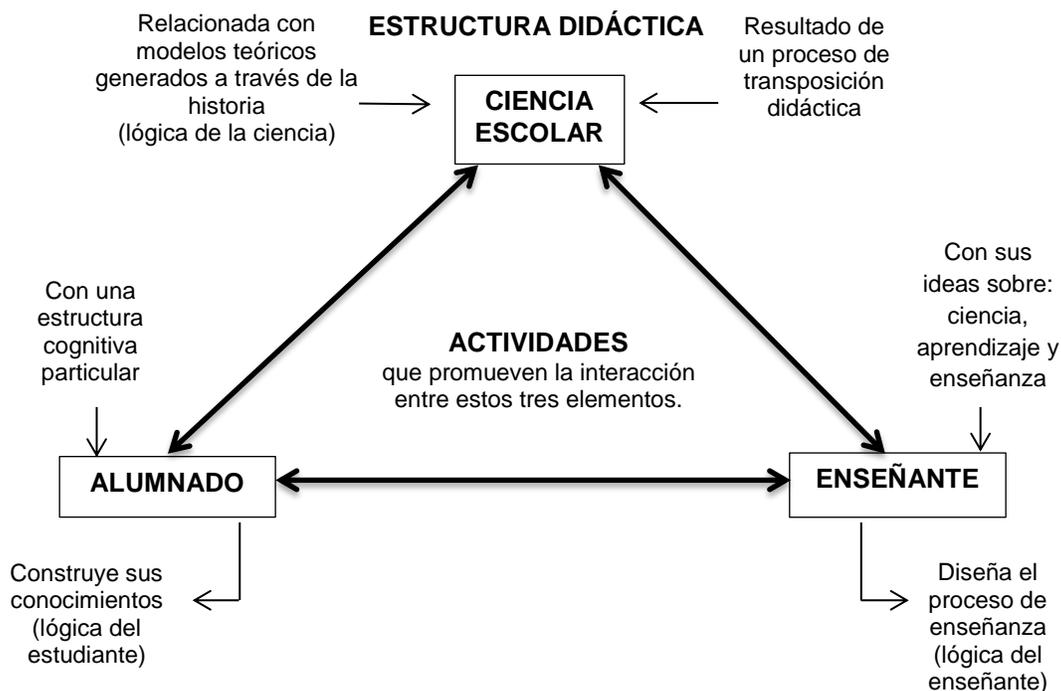
mismas que se retoman posteriormente. En la fase tres -reestructuración de ideas- se confrontan las ideas de los estudiantes para generar insatisfacción. La acumulación de conflictos provoca cambios cada vez más radicales en las estructuras de conocimiento, en esta fase se construyen concepciones o modelos alternativos. En la fase cuatro, -aplicación de ideas- los estudiantes deben probar y aplicar sus concepciones revisadas de varias formas a partir de actividades de construcción práctica, escritura libre o solución de problemas. Finalmente, en la fase cinco -revisión del cambio en las ideas- los alumnos comparan sus ideas iniciales y revisan las maneras en que han cambiado, es decir, desarrollan un proceso metacognitivo al reflexionar sobre su propio aprendizaje.

Por otro lado, las secuencias didácticas también pueden diseñarse y desarrollarse desde otra perspectiva constructivista pero con un enfoque centrado en la modelización y la ciencia escolar -mismos que se desarrollarán a profundidad en el siguiente apartado-, en este sentido, Sanmartí (2002) plantea que las actividades didácticas, son un conjunto de acciones planificadas por el profesorado que tienen como finalidad promover el aprendizaje de los alumnos en relación con determinados contenidos.

Desde este enfoque teórico, a través de las secuencias didácticas, se favorece la comunicación entre el conocimiento, el enseñante y el alumnado lo que permite que se concreten las intenciones educativas. En la Figura 3, se representa gráficamente dicha comunicación que da origen a la estructura didáctica.

A partir de lo anterior, es posible decir, que la actividad didáctica sólo tiene sentido en la medida en que consigue provocar la actividad mental del alumnado, más aún, en la medida en que se configura como una actividad científica escolar, es decir, que el conjunto de actividades organizadas y secuenciadas pretenden plantear situaciones propicias para que los estudiantes actúen -cognitiva y concretamente- y sus ideas evolucionen en función de sus puntos de partida individuales.

Figura 3. Estructura didáctica.

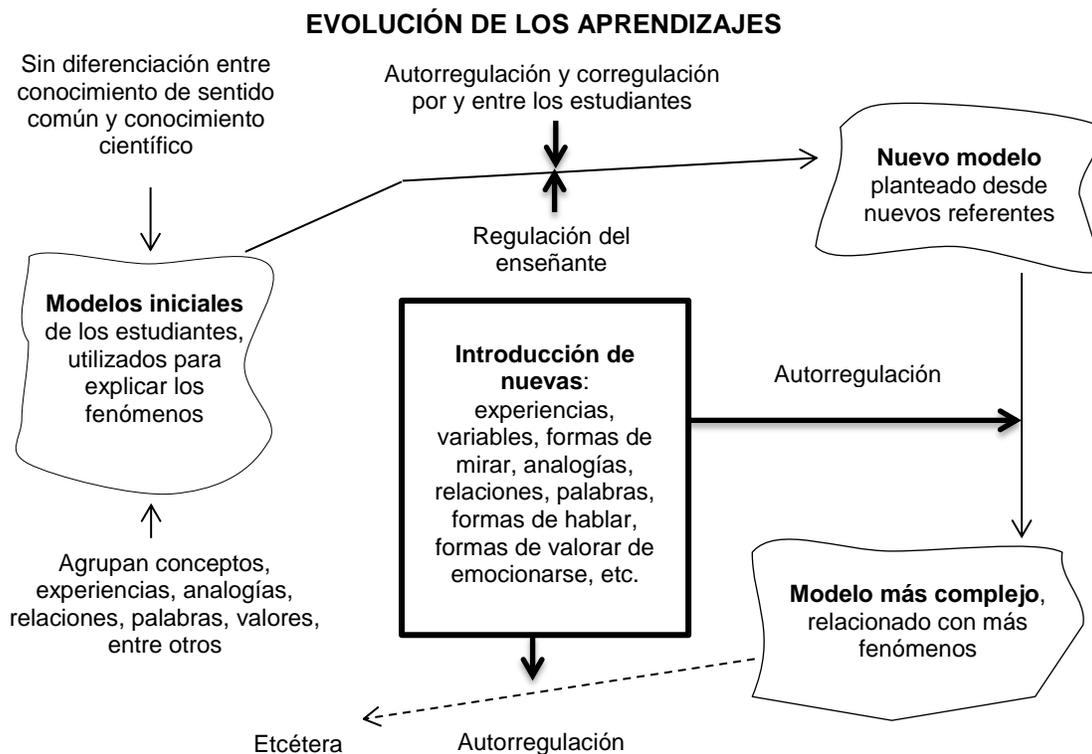


Fuente: tomado y modificado de Sanmartí (2002, p. 175).

En este contexto, la enseñanza se debe diseñar como un proceso a través del cual sea posible que los modelos iniciales de los alumnos evolucionen hacia unos más complejos y más coherentes con los planteamientos científicos. En la Figura 4 se representa gráficamente esta evolución a partir de la introducción de nuevas ideas, experiencias y variables que al ser autorreguladas y correguladas por y entre los estudiantes, les permiten transitar de modelos iniciales hacia modelos cada vez más complejos relacionados con más fenómenos.

La enseñanza desde este enfoque teórico se considera como el conjunto de acciones que promueven los profesores para favorecer el proceso de modelización que realizan los alumnos para dar sentido a los hechos del mundo y que tienden a ser coherente con el conocimiento científico.

Figura 4. Evolución de los aprendizajes científicos.



Fuente: tomado y modificado de Sanmartí (2002, p.180).

Desde esta perspectiva, la secuenciación de actividades para el aprendizaje de un modelo debe estar integrada por cuatro tipos de actividades (Sanmartí, 2002):

1. Actividades de exploración inicial. Tienen como objetivo facilitar que los estudiantes se planteen el problema a estudiar así como que expliciten sus representaciones. Son actividades que promueven el planteamiento de preguntas o problemas de investigación significativos desde la ciencia, y la comunicación de los distintos puntos de vista o hipótesis. Estas actividades se caracterizan por ser concretas y simples y cercanas a las vivencias e intereses de los alumnos.
2. Actividades de introducción de nuevos puntos de vista. Este tipo de actividades están orientadas a favorecer que los estudiantes puedan

construir ideas coherentes con las aceptadas actualmente por la ciencia. Estas ideas, configuran modelos de ciencia escolar, con poder explicativo y predictivo de un conjunto de fenómenos, que irán evolucionando. Su finalidad es que los alumnos reconozcan formas de mirar, razonar, sentir y hablar sobre los fenómenos objeto de estudio, distintas a las iniciales y que identifiquen los elementos que les permiten definir los modelos, así como las relaciones entre ellos. Las actividades van aumentando poco a poco el grado de abstracción y de formalización.

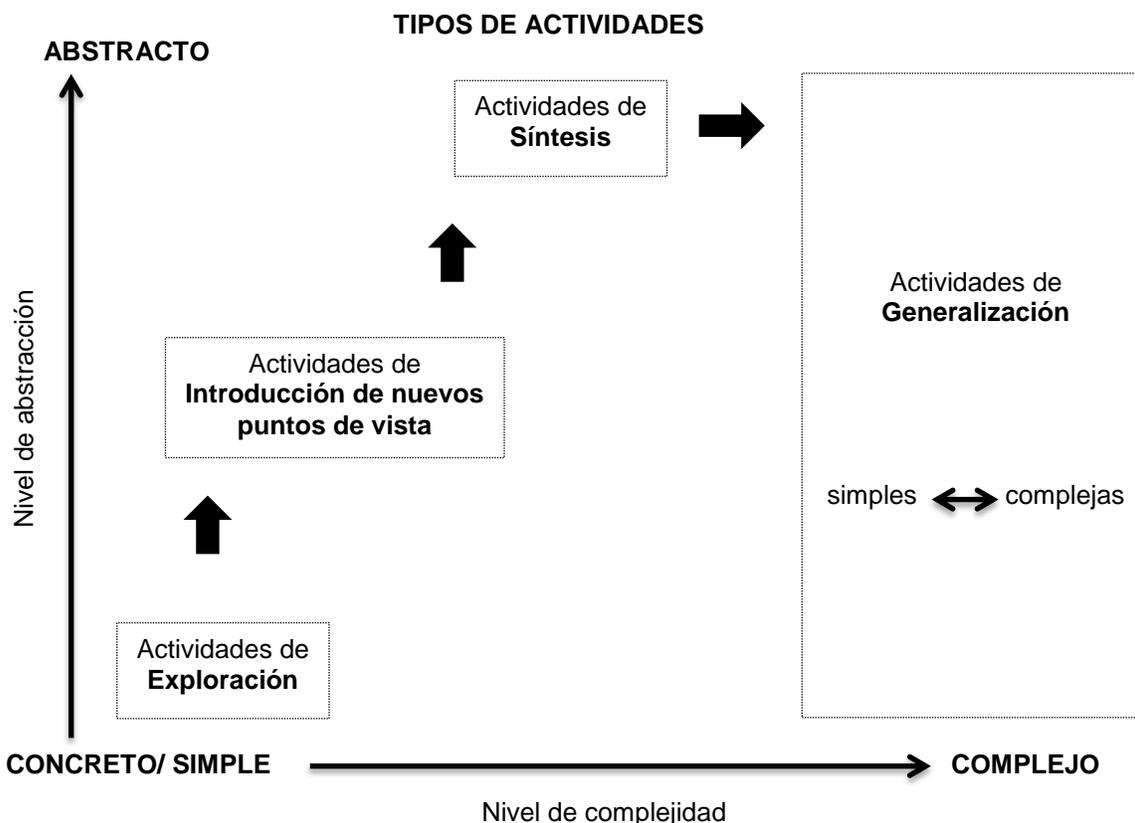
3. Actividades de síntesis: Este tipo de actividades permiten a los alumnos reflexionar sobre qué se está aprendiendo y sobre las nuevas ideas incorporadas. Su finalidad es que tomen conciencia del modelo construido hasta ese momento y de cómo expresarlo de la forma más abstracta posible. Estas actividades son de recapitulación o estructuración.
4. Actividades de aplicación o generalización. Estas actividades están orientadas a propiciar que los alumnos transfieran los aprendizajes construidos a otros núcleos de experiencias con los que están relacionados. Pueden ser pequeños proyectos o investigaciones en los que apliquen el modelo construido.

En la Figura 5 se presenta un esquema en la progresión de las actividades que debe contener una secuencia didáctica, nótese que de acuerdo a su finalidad didáctica parten de lo concreto a lo abstracto y de lo simple a lo complejo, es decir, que las actividades de exploración inicial deberán ser concretas y simples; las de introducción de nuevos puntos de vista aumentarán en el grado de abstracción y complejidad; las actividades de síntesis serán muy abstractas y más complejas, y las actividades de generalización podrán ser tan diversificadas de acuerdo a los aprendizajes construidos y aunque el nivel de abstracción será elevado, estas se podrán desplazar entre situaciones simples o complejas.

Considerando los sustentos teóricos anteriores, es posible concluir que la planificación en el aula consiste en diseñar secuencias didácticas en las que cada

actividad o situación de aprendizaje corresponda a un proceso gradual de enseñanza.

Figura 5. Tipos de actividades según su finalidad didáctica.



Fuente: tomado y modificado de Sanmartí (2002, p. 194).

Si bien estas secuencias didácticas parten de enfoques teóricos diferentes – constructivistas los últimos tres- comparten las siguientes características:

1. Inician las experiencias de aprendizaje tomando en cuenta las ideas de partida de los alumnos, expresadas libremente.
2. Introducen gradualmente información nueva -ideas, relaciones, explicaciones- que puede coincidir con lo que los alumnos ya sabían o no, pero se introducen como el punto de vista de la ciencia y representan una perspectiva alternativa a los conocimientos de sentido común.

3. Ofrecen oportunidades para recapitular y articular los nuevos conocimientos de manera organizada y clara.
4. Concluyen con la experiencia de aprendizaje brindando la oportunidad para que los alumnos apliquen lo aprendido en otras situaciones.

A partir de lo anterior, el lector podrá constatar, que el presente documento, se adhiere a la perspectiva teórica de Neus Sanmmartí con respecto a la forma en que se planifica la enseñanza expresada en los últimos párrafos de este apartado. Asumir esta postura teórica se justifica con la visión que tenemos de ciencia basada en la construcción de modelos misma que se desarrolla en el siguiente apartado.

2.4 Visión de ciencia: modelización y ciencia escolar

La visión de ciencia con la que se desarrolla el trabajo de investigación-intervención corresponde a una perspectiva constructivista en la que se reconoce al conocimiento científico como una construcción social.

El constructivismo es una corriente epistemológica y psicológica que se aplica en el campo de la Didáctica de las Ciencias, en el caso particular del constructivismo didáctico se toma en consideración cómo se genera la ciencia, cómo se aprende y cómo se enseña, esta visión de acuerdo con Sanmartí (2002a), está influenciada por la psicología piagetiana, ausubeliana y vigotskiana.

Este paradigma de investigación que es a la vez educacional, incluye elementos ontológicos, epistemológicos, metodológicos y pedagógicos. El primer elemento se refiere a una teoría de la existencia que se enfoca en el estado del mundo y lo que lo habita; el segundo corresponde a una teoría de la naturaleza y génesis del conocimiento subjetivo por lo que incluye una teoría del aprendizaje; el tercero hace alusión a los métodos técnicas apropiadas y válidas para usarse y generar un conocimiento justificado y; el cuarto se refiere a una teoría de enseñanza en términos de facilitar el aprendizaje de acuerdo a la epistemología (Ernest, 1995).

Los principales planteamientos del constructivismo radican en: a) los conceptos no se descubren, se construyen, las teorías científicas sirven para explicar la realidad, del mismo modo, el que aprende construye formas propias de ver y explicar el mundo; b) el aprendizaje es una consecuencia de una actividad mental y no de la acumulación de información, esta es reinterpretada y reelaborada en función de los conocimientos previos; c) en la enseñanza, se deben proponer actividades que propicien el cambio o evolución hacia concepciones más acordes con la ciencia actual, para lo que un enfoque a partir de la modelización propicia la construcción sobre modelos explicativos de los fenómenos, los alumnos siguen dicho proceso a lo largo de la escolaridad y los modelos que construyen evolucionan con el tiempo (Sanmartí, 2002a).

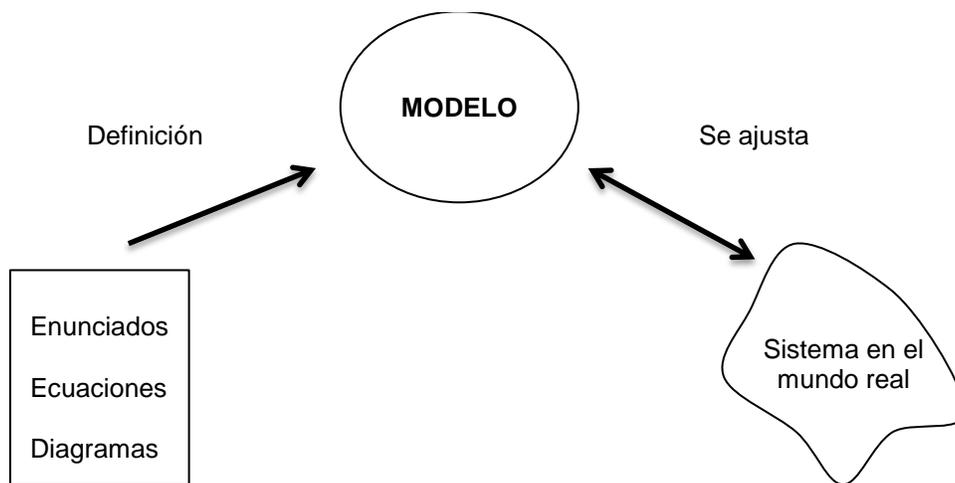
En suma, el constructivismo se refiere a la construcción y reconstrucción de estructuras mentales en donde se reconoce que la actividad cognitiva que realiza el alumno cuando interpreta los fenómenos del mundo para comprenderlos y darles significado comporta una interacción entre el sujeto y los objetos -hechos-, en este contexto, no hay verdades únicas o acabadas sino diferentes modelos para explicar los fenómenos del mundo. La forma de proceder de los alumnos que aprenden es similar a la de los científicos cuando generan conocimientos a partir de proponer un modelo y luego enunciarlo teóricamente haciendo ajustes entre éste y los elementos del mundo real.

A partir de este enfoque, la enseñanza de las ciencias debe permitir al estudiante la exploración y puesta en cuestión de ideas y proporcionar nuevas explicaciones congruentes con la naturaleza de la ciencia y propiciar que los alumnos desarrollen una mayor riqueza explicativa y una mayor aplicabilidad de las teorías científicas. En este sentido, se debe considerar la estructura y desarrollo de las teorías como un marco organizador del currículo y la instrucción; en este contexto, el aprendizaje se ve como un proceso individual guiado por los mismos principios que guían el desarrollo del conocimiento en las ciencias (Duschl, 1997).

En relación con lo anterior, Giere (1999) propone el Modelo Cognitivo de Ciencia, que presenta un enfoque basado en modelos -Figura 6- en donde se aceptan las observaciones sobre las cosas como algo que no procede directamente del mundo real, sino como definiciones de modelos, es decir, de objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones, en este sentido, las declaraciones utilizadas para caracterizar al modelo son verdad sólo del modelo y no del mundo real. La relación entre el modelo y el mundo real es abstracta, pero no es en ningún caso de verdad sino de ajuste en donde se intenta explicar sí el modelo se ajusta a los sistemas correspondientes del mundo real y hasta qué punto es similar a ellos. En este contexto, la relación entre las teorías -declaraciones- y el mundo es indirecta y se da a través del modelo, es así que una teoría es lo que se puede decir del mundo a través de los modelos que se ajustan al mundo real. Lo importante es el grado de ajuste, ello indica cuándo un modelo es más potente que otro.

Figura 6. Aproximación de las teorías científicas basa en modelos.

APROXIMACIÓN DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS, BASADA EN MODELOS



Fuente: tomado de Giere (1999, p. 65).

Desde este enfoque la finalidad de la observación y la experimentación es que los científicos puedan decidir qué modelo encaja mejor respecto a los aspectos del mundo real que se están investigando; parte de una imagen de la ciencia en la que el progreso no consiste en la eliminación de mentiras o en el descubrimiento de verdades sino en la construcción de modelos que concuerdan mejor con el mundo de maneras diferentes, es así como se relativizan los juicios respecto a las evidencias, se puede decir que esta posición se encuentra enmarcada en el relativismo moderado.

En este contexto, Gómez (2006) señala que la palabra modelo se ha utilizado para designar una amplia diversidad de fenómenos, su característica principal es que son una construcción humana funcional y abstracta que permiten explicar y predecir un fenómeno. Están conformados por entidades finitas y relaciones entre dichas entidades. Las entidades y sus relaciones pueden organizarse produciendo nociones, definiciones, conceptos, generalizaciones, leyes, hipótesis, metáforas, analogías, procesos o ecuaciones. Las entidades se pueden considerar como las unidades operacionales del modelo, entendidas como unidades para pensar, comunicar y actuar, son constructos conceptuales que se pueden caracterizar por su comportamiento dentro de los límites del modelo y algunas veces también por su estructura. Las entidades abstractas y relaciones entre ellas generadas en los modelos permiten describir la estructura interna de los mismos, su composición y funcionamiento, de manera que pueden explicarse algunas de las propiedades del sistema o fenómeno estudiado y generar predicciones de su comportamiento con la finalidad de intervenir en él.

Considerando que los objetos investigados por la ciencia resultan muy grandes o muy pequeños, lo que se hace es proponer modelos que se ajusten al mundo real y a partir de los datos se evalúa si hay un buen acoplamiento entre los mismos y la predicción, lo cual implica un proceso de razonamiento científico. Es así que los elementos de los modelos son: el aspecto del mundo real que se está estudiando; el modelo sugerido; los datos generados por el mundo mediante la observación y la experimentación y; la predicción a partir del modelo. En este contexto, los

alumnos requieren de identificar esta estructura para evaluar la información que procede del mundo real y contrastarla con las hipótesis para comprobar si el modelo encaja en el aspecto del mundo en cuestión y tomar decisiones consecuentes sobre ello que bien pueden incluir hacer uso de modelos alternativos (Giere, 1999).

El Modelo Cognitivo de Ciencia tiene las siguientes características: 1) es realista pero de manera pragmática al aceptar que los hechos del mundo son reconstruidos en el marco de las teorías científicas para convertirse en hechos científicos, en este sentido, es necesario representar coherentemente tanto el fenómeno estudiado como los instrumentos que se utilizan y las acciones que se realizan en la experimentación ya que cualquier cambio en alguna de estas representaciones produce un cambio de significado; 2) posee una concepción semántica de teoría científica según la cual la teoría sólo es válida si tiene significado y es útil para interpretar los fenómenos; 3) es pertinente en situaciones complejas como la ciencia escolar que se desarrolla entre el pensamiento cotidiano y el pensamiento científico y; 4) no pretende demarcar estrictamente entre ciencia y no ciencia, ni diferenciar los contextos de creación y de justificación del conocimiento científico (Izquierdo, Espinet, García, Pujol y Sanmartí, 1999a).

Considerando lo anterior, la modelización es producto del Modelo Cognitivo de Ciencia, en ella se considera que en la enseñanza de las ciencias se debe favorecer la construcción de modelos científicos escolares por parte de los alumnos para que construyan modelos que les permitan representar y explicar los hechos del mundo para poder actuar sobre ellos.

Con respecto a la enseñanza de las ciencias, este paradigma, establece una conexión gradual entre los modelos teóricos propios de la ciencia y las representaciones mentales que los alumnos tienen sobre los fenómenos naturales (Chamizo y Márquez, 2006). De acuerdo con lo que plantea Driver, Squires y Wood-Robinson (2000) en sus investigaciones sobre las ideas previas *“La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos*

rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto, cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno del mundo” (p.190). Este mismo proceso ocurre durante el proceso de aprendizaje por lo que resulta importante enseñar con un enfoque relativo a los modelos y la modelización.

El empleo de modelos en el proceso de enseñanza y aprendizaje propician la elaboración de puentes entre la abstracción y la construcción de imágenes útiles en la educación (Caamaño, 2003 citado en Chamizo y Márquez, 2006). En este contexto, los planteamientos de Giere proporcionan una visión evolutiva de ciencia en donde los procesos cognitivos se relacionan con la evolución de las teorías de forma similar a como los mecanismos genéticos se relacionan con la evolución de las poblaciones, es decir, existe una gran diversidad de representaciones o modelos científicos cuya supervivencia o evolución depende de factores sociales.

En este sentido, las teorías o modelos son construcciones humanas que se ajustan más o menos a los hechos del mundo, sin embargo, las personas organizadas en torno a una comunidad científica son capaces de llegar a acuerdos sobre cuáles son los modelos que mejor se ajustan a la realidad. Por lo tanto, el núcleo de una teoría científica no lo constituye un conjunto de leyes sino un conjunto de modelos. La conexión entre el mundo real se hace a través de hipótesis teóricas que aseveran la similitud entre el modelo abstracto y cualquier cosa del mundo real (Sanmartí, 2002b).

Enseñar ciencias con este enfoque implica favorecer que los alumnos construyan modelos científicos escolares, que les permitan representar y explicar los hechos del mundo, son plausibles sólo en la medida en que permitan conectar con fenómenos relevantes para quienes aprenden y les permitan pensar sobre ellos para poder actuar (Izquierdo *et al.*, 1999a).

En este contexto, aprender implica que los alumnos piensen teóricamente a través de modelos y sean capaces de aplicarlos en la interpretación de hechos, estos modelos deben ser coherentes con la ciencia erudita -aunque no igual a ella-, significativos para quien los usa y poseer un carácter evolutivo.

La modelización representa una línea de investigación joven pero potente ya que el aprendizaje implica la construcción de varios modelos hasta llegar a uno cercano al de la ciencia, además de que permite al docente identificar los obstáculos en el aprendizaje.

Relacionar el aprendizaje de la ciencia con la construcción de modelos teóricos, implica alfabetizar científicamente a los alumnos, entendiendo esto como propiciar que se apropien de la cultura científica misma que está conformada por el conjunto de modelos y teorías que permiten responder a las preguntas sobre los hechos que suceden a nuestro alrededor y así intervenir en ellos. Para la didáctica de las ciencias, la importancia de la actividad escolar radica en la construcción de modelos por parte de los alumnos que les permitan representar y explicar los hechos del mundo, tienen que ser significativos y evolutivos. En este contexto, la enseñanza de las ciencias, es vista como un proceso de modelización en el que los sujetos pueden construir modelos significativos y relevantes, en la medida en que pueden pensar, hablar y actuar a partir de ellos de forma informada, crítica y autónoma (García y Sanmartí, 2006).

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias también comportan una actividad lingüística por lo que es importante que el docente enseñe al alumno a conocer tanto el patrón temático como el patrón estructural de cada disciplina. La elaboración de modelos científicos escolares se interrelaciona fuertemente con la construcción del vocabulario que permita justificar y dar argumentos sobre las ideas que se han desarrollado; por lo que la tarea docente es ayudar a relacionar los conocimientos lingüísticos con los científicos. El principal problema que se presenta en las aulas de ciencias es que los alumnos no pueden dar sentido al lenguaje científico porque se encuentran en un ámbito diferente al de los científicos y a la forma en que éstos se representan el mundo (García y Sanmartí, 2006; Izquierdo, 2003).

Las ciencias cognitivas permiten comprender cómo se construyen significados en el discurso entre las personas, a partir de ello, se ha identificado la importancia del

lenguaje en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Es necesario retomar las diversas funciones del lenguaje y propiciar la lectura y escritura de textos para que los términos especializados resulten significativos. En el aula se deben trabajar para desarrollar las habilidades cognitivo-lingüísticas que bien podrían ser el método de la ciencia escolar. A partir de este planteamiento, se evidencia la presencia de tres elementos necesarios en las ciencias: 1) una serie de hechos, 2) las ideas que los evocan y, 3) las palabras que los expresan. Es así como el lenguaje es el resultado de haber cambiado de formato al mundo para hacerlo pensable (Izquierdo, 2003).

En el contexto de la modelización, surge la pertinencia de hacer mención de la ciencia escolar como un recurso teórico-metodológico, en el que se reconoce que los conocimientos que se enseñan no son nunca exactamente los de la ciencia experta. La ciencia escolar es resultado de los procesos de transposición didáctica desde la ciencia de los expertos a la ciencia que se enseña en el aula (Sanmartí, 2002a; García y Sanmartí, 2006).

La ciencia escolar igual que la de los científicos es el resultado de una actividad humana compleja, que debe tener una meta, un método y un campo de aplicación adecuado al contexto escolar en donde se conecten los valores de los alumnos con los objetivos de la escuela. Con respecto a la meta y los resultados de la actividad científica escolar estos serán los que permita el propio contexto escolar, el mundo que los alumnos podrán interpretar y sus hechos científicos será el que pueda ser discutido y construido en el marco de los modelos teóricos previstos en el currículo y de las actividades realizadas con la finalidad de hacerlos significativos; el método podrá partir de los experimentos y la objetivación que de los mismos se realice en el proceso de hablar, discutir y escribir sobre los fenómenos y la significación de los mismos, lo cual dará paso a la construcción del conocimiento científico escolar y; las teorías que vayan construyendo en las clases de ciencias tendrán que ser útiles y creíbles (Izquierdo *et al.*, 1999b).

En suma, la ciencia escolar se refiere a aquella que hacen los alumnos en la escuela, es diferente de la ciencia que hacen los científicos, su objetivo es posibilitar una formación científica adecuada y al alcance de toda la población.

Parte de adecuar los contenidos curriculares a los intereses y objetivos de las diferentes comunidades escolares; desde este enfoque, pretende que los aprendizajes sean aplicables en el contexto en el que se desarrollen los alumnos y que por lo tanto resulte significativa. A partir de ella, se impulsan los procesos de metacognición y de autorregulación; representa un foro de discusión científica que los alumnos consideren como propio, el énfasis se da en que se asuman como protagonistas de la ciencia escolar al dar sentido a sus aprendizajes, controlarlos y desarrollarlos con autonomía desarrollando las competencias necesarias para poder aplicar sus conocimientos (Izquierdo *et al.*, 1999a).

En este sentido, aprender en la escuela desde la perspectiva de la ciencia escolar implica ayudar a los alumnos a construir modelos que sean significativos sobre los que puedan pensar, hablar y actuar.

La construcción de este marco teórico brinda los sustentos necesarios para el diseño una secuencia didáctica circunscrita en la modelización y la ciencia escolar cuya finalidad es contribuir a que los alumnos construyan un modelo explicativo sobre el flujo energético en los ecosistemas con un carácter evolutivo, cercano al propuesto por la ciencia erudita y que les permita razonar sus explicaciones, en este sentido, el enfoque teórico expresado en los párrafos previos, orienta la construcción y explicitación de un contrato metodológico con el que se intervino en las clases de ciencias durante los estudios de maestría de la autora, mismo que se desarrolla en el siguiente capítulo.

Capítulo 3. Contrato Metodológico

Criterios de Diseño Curricular

Introducción

En los capítulos previos, se enunciaron dos elementos importantes para el trabajo de investigación e intervención docente reportado en este documento, por un lado, se evidenció el aprendizaje del flujo energético en los ecosistemas como un fenómeno difícil de ser comprendido-aprendido por los alumnos de educación básica y se justificó su abordaje a partir del diseño y desarrollo curricular en el ámbito de la didáctica de las ciencias.

Por otro lado, se enunció la postura teórica en la cual se sustenta la investigación e intervención docente que en este caso implica la construcción, implementación y evaluación de una estrategia didáctica diseñada con un enfoque epistemológico particular en el que se reconoce a la ciencia como un actividad humana en la que los sujetos construyen modelos que les permiten describir y explicar los fenómenos de la naturaleza. Desde esta postura, se propone la enseñanza de las ciencias basada en la construcción de modelos en el marco de la ciencia escolar.

En este capítulo, se da a conocer el proceder metodológico empleado para dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación -planteada en el capítulo uno-:

¿En qué medida la secuencia didáctica diseñada desde la perspectiva de la modelización y la ciencia escolar, contribuye a que los alumnos reconozcan el papel que juegan los organismos en las cadenas alimentarias y construyan un modelo científico escolar que les permita explicar el flujo energético en los ecosistemas?

A partir de esta interrogante y considerando que se partió del supuesto de que los problemas de aprendizaje son susceptibles de reducirse a partir de una reestructuración en el diseño y desarrollo curricular, en el cuerpo del capítulo se abordan los objetivos de la investigación y la ruta metodológica seguida; se explicitan los objetivos y criterios de diseño de la secuencia didáctica; las fases de implementación de la misma y; la prospectiva de análisis.

3.1 Objetivos de la investigación

General

- Aportar evidencia empírica sobre la importancia de la modelización y la ciencia escolar en la construcción de explicaciones científicas por parte del alumnado sobre el flujo energético en los ecosistemas.

Específicos

- Diseñar una secuencia didáctica fundamentada en la modelización y la ciencia escolar que posibilite la comprensión del flujo energético en los ecosistemas a partir de la construcción del modelo de cadena alimentaria.
- Implementar la secuencia didáctica diseñada con alumnos de cuarto grado de educación primaria para confirmar el supuesto de que los problemas de aprendizaje son susceptibles de reducirse a partir las bondades del enfoque teórico implícitas en el dispositivo didáctico.
- Validar la secuencia didáctica diseñada a partir de explicitar el enriquecimiento gradual de los modelos explicativos iniciales hasta los modelos explicativos logrados más cercanos a la visión científica actual.

3.2. Ruta metodológica

Para atender el problema enunciado en el capítulo uno y con base en los objetivos de la investigación/intervención, se diseñó, implementó y validó un dispositivo

didáctico -secuencia didáctica- sustentado en la modelización y en la ciencia escolar.

El camino a seguir, se dividió en dos fases:

- Primera fase: diseño y construcción; en ella, se retomó la inferencia y construcción de modelos como herramienta metodológica; se establecieron criterios de diseño y se construyeron tanto la secuencia didáctica como los instrumentos para recolectar información específica generada en las diferentes actividades planteadas.
- Segunda fase: trabajo de campo; en ella, se consideraron las características de la población destino; se implementó el pilotaje del dispositivo didáctico construido, la información arrojada en esta etapa brindó los elementos necesarios para reestructurar tanto el dispositivo como los instrumentos para recabar información, posteriormente, se desarrolló la etapa de implementación final y se dio paso al análisis de los resultados empíricos.

3.2.1 Primera fase: diseño y construcción

Esta primera fase, se denominó de diseño y construcción ya que a partir del enfoque teórico con el que se trabajó, se utilizó la inferencia y construcción de modelos como herramienta metodológica para proponer finalmente un Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- mismo que se utilizó como uno de los criterios de diseño para la construcción de la secuencia didáctica, también se generaron los instrumentos que sirvieron para recabar información durante el trabajo de campo.

3.2.1.1 Construcción de modelos como herramienta metodológica: el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) como hipótesis directriz.

La construcción de modelos como herramienta metodológica, se fundamenta en la propuesta de López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) quienes plantean que es necesario poner en términos de modelos lo que el alumno piensa en torno a un

fenómeno (que corresponde al Modelo Explicativo Inicial -MEI- inferido de las ideas previas reportadas en la literatura), el currículo (que se constituye en el Modelo Curricular -MCu- inferido del currículo oficial, en particular de los aprendizajes esperados- y de los planteamientos de la ciencia misma (Modelo Científico -MC- inferido en este caso de la ecología), para con ello identificar el modelo al que se espera que los alumnos se acerquen, denominado Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA-, este modelo surge de tensionar el Modelo Explicativo Inicial -MEI-, el Modelo Científico -MC- y el Modelo Curricular -MCu-, ello ofrece claridad al proceso de intervención docente sobre los elementos que es necesario que posea el modelo explicativo que los alumnos deben construir.

A partir de lo anterior, se hizo una revisión de la literatura especializada en el campo de Educación en Ciencias en tres ámbitos: en el primero se localizó la información referente a las ideas previas que tienen los sujetos sobre el flujo energético en los ecosistemas, para ello se revisó la base de datos del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico -CCADET- sobre esta temática, así como los artículos y capítulos de libros en que se aborda este aspecto. Con la información recabada se infirió el Modelo Explicativo Inicial -MEI- que incluye las entidades que permiten el funcionamiento del modelo, las relaciones que entre ellas se dan y las condiciones necesarias para que el modelo sea viable.

En segundo lugar, se realizó una amplia documentación sobre el fenómeno en cuestión pero desde el ámbito de la ecología como disciplina científica en la que se enmarca el mismo, con estos referentes, se infirió el Modelo Científico -MC- y para homologarlo con el anterior y los subsecuentes, se planteó en términos de elementos, relaciones y condiciones.

En tercer lugar, se analizaron los materiales curriculares editados por la Secretaría de Educación Pública -SEP- por lo que se consideraron el Plan de Estudios 2011 para Educación Básica, así como los Programas de Estudio de preescolar - Exploración y Conocimiento del Mundo-; primaria -Exploración de la Naturaleza y la Sociedad y; Ciencias Naturales tercero, cuarto, quinto y sexto grado- y;

secundaria -Ciencias I con énfasis en Biología- así como los respectivos libros de texto gratuitos. Lo anterior permitió el proceso de inferencia y construcción del Modelo Curricular -MCu-.

Finalmente, al ser tensionados estos tres modelos, se dio origen al Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA-, el cual sirvió como criterio de diseño de la secuencia didáctica y su propósito fue propiciar el tránsito del modelo explicativo inicial de los alumnos hacia un modelo científico escolar que les brindara elementos formativos y les permitiera tomar decisiones razonadas y pertinentes sobre el flujo de energía en los ecosistemas.

3.2.1.2 Diseño de la secuencia didáctica

El diseño de la secuencia didáctica tuvo como propósito que los alumnos transitaran de un modelo explicativo inicial a un modelo científico escolar de arribo más robusto y complejo que les permitiera razonar sobre el fenómeno en cuestión y enriquecer sus explicaciones sobre el mismo.

Para diseñar la secuencia didáctica, se consideraron diferentes criterios. Con respecto a los objetivos de la misma, se tomaron como base las dificultades y los obstáculos que se buscaba ayudar a superar. Los objetivos específicos que se tuvieron en consideración fueron coherentes y significativos tanto en relación con la secuencia didáctica como con el conjunto del currículo de educación básica y fueron los siguientes:

Al finalizar la implementación de la secuencia didáctica, los alumnos serán capaces de:

- Reconocer las fuentes bióticas y abióticas como elementos que integran los ecosistemas.
- Reconocer a las plantas, animales y microorganismos -hongos y bacterias- como fuentes bióticas que necesitan nutrirse.
- Diferenciar la nutrición autótrofa de la heterótrofa.

- Reconocer a las cadenas y tramas alimentarias como las relaciones interespecíficas que se dan al interior de los ecosistemas y que posibilitan el flujo de energía en la naturaleza.
- Reflexionar sobre la importancia del flujo de la energía en los ecosistemas con respecto a la sostenibilidad del mismo.

A partir de lo anterior, el planteamiento de los objetivos de aprendizaje, guio la selección de los contenidos, de las actividades y de la evaluación.

La elección de los contenidos curriculares se realizó considerando que fueran muy significativos y que posibilitaran la comprensión del fenómeno; en palabras de Sanmartí (2000), con ellos, se buscó *“mejorar las teorías de los jóvenes sobre el mundo, para que lo puedan comprender mejor y actuar sobre él con más eficacia”*, en este sentido, se incluyeron contenidos conceptuales, procedimentales, actitudinales y se propició implícitamente la mejora en su capacidad explicativa.

Con el MCEA se buscó que los alumnos enriquecieran sus propios modelos y transitaran de explicar el fenómeno desde una visión de sentido común a una más evolucionada y coherente con la visión científica, el propósito fue que los alumnos consiguieran evaluar y regular la forma de concebir sus modelos así como ampliar el espectro de acción que los mismos les posibilitan.

Con respecto a los criterios para organizar y secuenciar los contenidos, se plantearon situaciones propicias para que los alumnos actuaran a nivel manipulativo y de pensamiento y sus ideas evolucionaran en función de su situación personal -puntos de partida-, por ello, se retomó la estructura propuesta por Sanmartí (2000) y se incluyeron actividades de cuatro tipos de acuerdo a su finalidad: a) actividades de iniciación, exploración, explicitación, planteamiento del problema; b) actividades de introducción de nuevas variables para promover la evolución de los modelos iniciales; c) actividades de síntesis, elaboración de conclusiones y de estructuración del conocimiento y; d) actividades de transferencia a otros contextos o de generalización.

Las actividades de iniciación tuvieron como objetivo que los alumnos explicitaran sus modelos y comunicaran sus distintos puntos de vista; partieron de promover el análisis de una situación simple y concreta cercana a las vivencias de los estudiantes y buscaron la expresión de sus ideas en torno al fenómeno observado cotidianamente.

Las actividades de introducción de nuevas variables estuvieron orientadas a propiciar que los alumnos pudieran identificar nuevos puntos de vista relacionados con el flujo energético en los ecosistemas, alejado de una visión fragmentada y simplista de depredación. En ellas, se generó la discusión y cooperación colectiva de toda la clase. Con estas actividades, se pretendió facilitar que los alumnos enriquecieran su visión inicial del problema y su explicación, es decir, se buscó una reestructuración en la forma de mirar, pensar y hablar con relación al fenómeno.

Las actividades de síntesis favorecieron que los alumnos explicitaran lo aprendido, así como los cambios en sus puntos de vista iniciales, con ellas se buscó que fueran capaces de extraer conclusiones y de reconocer las características del modelo reelaborado, así como de comunicarlo.

Finalmente, con las actividades de generalización, se buscó que los alumnos transfirieran las nuevas formas de ver y de explicar a situaciones, más complejas que las iniciales para que pudieran poner en juego su modelo explicativo logrado.

3.2.1.3 Instrumentos para recolectar información

Los instrumentos diseñados para recolectar información específica partieron de un enfoque formativo de evaluación, su función fue evidenciar el cambio o evolución en los modelos iniciales de los alumnos, por ello, se buscó retomar aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Se diseñaron cuatro instrumentos -que fueron piloteados previamente- con la finalidad de obtener información, los tres primeros ofrecieron datos a nivel

individual y el cuarto a nivel de equipo. Se buscó favorecer la verbalización de las propias formas de pensar y de actuar; posibilitar la explicitación de los modelos y la contrastación entre ellos y, estimular la negociación de los diferentes puntos de vista para llegar a un consenso.

El primer instrumento fue un cuestionario de cinco preguntas abiertas (Anexo 1), se diseñó para la fase de iniciación o exploración; con él se buscó indagar si los alumnos reconocen a las plantas como productores capaces de producir su propio alimento -autótrofos-; si reconocen las relaciones productores-consumidores y si estas las asocian al tamaño y/o ferocidad; si reconocen que el flujo de energía en las cadenas alimentarias es unidireccional y que va de los productores a los consumidores de los diferentes niveles tróficos; e identificar si reconocen la existencia y función de los degradadores.

El segundo instrumento fue una serie de cuatro imágenes con las que los alumnos tenían que explicar el flujo de energía entre los cuatro seres vivos (Anexo 2), se diseñó para implementarse en la fase de introducción de nuevos puntos de vista y buscó que los alumnos pusieran en juego sus conceptos de productor, consumidor y degradador, así como que los ubicaran en un nivel trófico específico y que hicieran las diferencias entre herbívoro y carnívoro. Además de que incluyeran flechas para indicar el flujo de la energía en las relaciones de consumo y que explicaran de qué le sirve a un ser vivo alimentarse de otro.

El tercer instrumento fue un cuestionario abierto de cuatro preguntas (Anexo 3), se diseñó para implementarse durante la fase de síntesis y buscó contrastar las explicaciones obtenidas con el primer instrumento y las obtenidas después de la fase de introducción de nuevos puntos de vista para valorar que tanto se logró enriquecer los diferentes modelos explicativos. Con este instrumento se pretendió evidenciar si los alumnos abandonaron o no las concepciones de consumo relacionadas con el tamaño y la ferocidad; así como la importancia del flujo de la energía en los ecosistemas con respecto a la sostenibilidad del mismo.

Finalmente, el cuarto instrumento diseñado se concibió con la idea de desarrollarse a partir del trabajo en equipo durante la fase de generalización, consistió en proponer a los diferentes equipos seres vivos de ecosistemas particulares y que con ellos explicaran el flujo energético de dicho ecosistema, con este instrumento se buscó que los alumnos pudieran aplicar y socializar sus modelos logrados a partir de una situación concreta.

3.2.2 Segunda fase: trabajo de campo

Esta segunda fase, se denominó trabajo de campo ya que en ella, se consideraron las características de la población destino; se implementó el pilotaje del dispositivo didáctico construido, se realizó la reestructuración del mismo y de los instrumentos para recabar información, se desarrolló la etapa de implementación final y se dio paso al análisis de los resultados empíricos.

La secuencia didáctica se implementó en una Escuela Primaria Pública ubicada en el oriente de la Ciudad de México, en la delegación Iztapalapa. Se trabajó con alumnos de cuarto grado del turno matutino.

El trabajo de campo se desarrolló en dos etapas; la primera fue el pilotaje del dispositivo didáctico y los instrumentos para recabar información. La finalidad de esta etapa fue poner a prueba la secuencia didáctica en condiciones reales de trabajo, lo cual permitió evaluar la pertinencia de las diferentes actividades y la utilidad de los instrumentos. Tuvo lugar del 11 al 21 de marzo de 2014 y se implementó con un grupo mixto 35 alumnos de cuarto "A". Esta etapa permitió afinar el dispositivo didáctico, al igual que los instrumentos para la recolección de la información, para llevarlo con mayor éxito a la siguiente etapa.

La segunda etapa denominada de aplicación definitiva tuvo lugar del 31 de marzo al 11 de abril de 2014 y se realizó con otro grupo de cuarto grado de la misma escuela -4°B- para reducir las variaciones inherentes al contexto. El grupo fue mixto y estuvo conformado por 33 alumnos. La secuencia didáctica se desarrolló en seis sesiones de 60 minutos cada una, en ellas los alumnos trabajaron en

pequeños grupos e individualmente. Cada actividad tuvo diferentes propósitos, sin embargo, el objetivo fue avanzar en el desarrollo de los aprendizajes esperados y construir un modelo explicativo relacionado con el flujo de energía en los ecosistemas. Las actividades buscaron favorecer la evolución y enriquecimiento de los modelos explicativos de los alumnos a partir de propiciar una actividad mental que los llevó a reconstruir sus modelos explicativos y llegar a modelos logrados encaminados al MCEA. Los resultados obtenidos en esta fase se analizan y discuten en el capítulo cinco.

3.2.3 Prospectiva de análisis

Para analizar la información recabada en el trabajo de campo y dar respuesta a la pregunta de investigación, se utilizaron dos categorías analíticas de corte cualitativo.

1. Reconocimiento de los seres vivos y del papel que juegan en los ecosistemas.
2. Identificación de los modelos alcanzados por los alumnos en torno al modelo de cadenas alimentarias para explicar el fenómeno de flujo energético. Se consideraron las entidades, relaciones y condiciones explicitadas en los modelos logrados.

Cabe precisar que las categorías anteriores, no son de la misma naturaleza, sin embargo, es necesario incluir la primera considerando que es un prerrequisito que los alumnos identifiquen qué es un ser vivo (Gómez, Sanmartí y Pujol, 2007; Martínez, 2013), así como las diferentes funciones que desempeñan en los ecosistemas y cómo es que estos interactúan para posibilitar el flujo energético.

Capítulo 4. Resultados Teóricos

El modelo científico escolar de arribo y la secuencia didáctica

Introducción

Proponer el desarrollo de una actividad científica escolar en el ámbito de la Educación en Ciencias requiere del uso de un dispositivo teórico- metodológico que permita proceder en el diseño y validación de secuencias didácticas (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014) cuya finalidad sea promover en las clases de ciencias la construcción de modelos científicos escolares con los que los alumnos avancen en la comprensión de la naturaleza a partir de una actividad científica escolar que les permita explicar, representar, comunicar y actuar sobre los fenómenos; en este caso particular, sobre del flujo energético en los ecosistemas.

El presente capítulo se ha denominado '*Resultados Teóricos*', se divide en dos apartados: el primero referente a la construcción de los diferentes modelos inferidos -Modelo Científico, Modelo Explicativo Inicial y, Modelo Curricular- sobre el flujo energético en los ecosistemas que se originaron al analizar y homogeneizar las visiones de los diferentes actores y que evidencian sus concepciones y posturas sobre este fenómeno. Estos modelos, se tensionaron para construir y proponer el Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- que sirvió como criterio de diseño de la secuencia didáctica misma que se expone en el segundo apartado del capítulo.

4.1 El flujo energético en los ecosistemas: visiones distintas que se homogeneizan y tensan para dar origen al MCEA.

El Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- es un dispositivo teórico-metodológico cuya finalidad es dar dirección al diseño y validación de secuencias didácticas, con él se pretende evidenciar hasta dónde se quiere llegar con respecto a la construcción de modelos escolares por parte de los alumnos.

Para proponer dicho dispositivo, se requiere que previamente se homogeneice la información que procede de tres dimensiones diferentes: los alumnos, el currículo y, los científicos -se consideran las explicaciones iniciales de los estudiantes sobre el fenómeno; los planes y programas de estudio; así como la disciplina científica-.

La información se homogeneiza en términos de modelos para lo cual se consideran las entidades que constituyen al sistema a ser representado, las relaciones entre dichas entidades así como las condiciones que permiten explicar el fenómeno y predecir su comportamiento; posteriormente se tensan estos tres modelos y se propone el MCEA que en términos generales se encuentra entre el Modelo Curricular -MCu- y el Modelo Explicativo Inicial -MEI- pero en la línea explicativa del Modelo Científico -MC-. El modelo final -MCEA- es la pauta para el diseño y validación de secuencias didácticas (López-Mota y Rodríguez Pineda, 2013; López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

A partir de lo anterior, el Modelo Científico -MC- se infirió de la literatura especializada en Ecología, en particular en el estudio de los ecosistemas y el flujo de energía en los mismos a través de los diferentes niveles tróficos (Curtis, Barnes, Schnek y Massarini, 2008; Odum y Barrett, 2006; Smith y Smith, 2007).

Por otro lado, el Modelo Explicativo Inicial -MEI-, se infirió de las explicaciones iniciales sobre las cadenas alimentarias reportadas en la literatura especializada, para ello, se consideraron dos fuentes principalmente: 1) la base de datos concentrada en la página electrónica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET, 2004) y 2) la publicación de Driver, Squires,

Rushworth y Wood-Robinson (1999) sobre las investigaciones realizadas con respecto a las ideas de los niños en el marco del Proyecto de apoyo al Currículum Nacional de Ciencias de Leeds, Inglaterra.

Finalmente, para inferir el Modelo Curricular -MCu- sobre el flujo energético en los ecosistemas, se hizo la revisión del Plan de Estudios 2011 para Educación Básica⁵ elaborado por la Subsecretaría de Educación Básica de la Secretaría de Educación Pública (SEP, 2011); así como los Programas de Estudio de preescolar -Exploración y Conocimiento del Mundo-; primaria -Exploración de la Naturaleza y la Sociedad y; Ciencias Naturales tercero, cuarto, quinto y sexto grado- y; secundaria -Ciencias I con énfasis en Biología- desarrollados por la Dirección General de Materiales Educativos de la Subsecretaría de Educación Básica (SEP, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e, 2011f, 2011g).

4.1.1 La visión de los científicos. Modelo Científico: “Las cadenas alimentarias”

El Modelo Científico se infirió a partir de la revisión disciplinar del fenómeno desde el punto de vista de los ecólogos. Se identificaron dos enfoques desde los cuales es posible estudiar los ecosistemas y comprender las interacciones entre la biocenosis y el biotopo que lo integran. Aun cuando dichos enfoques son complementarios, el primero se centra en los procesos ecológicos, es decir, en las relaciones interpoblacionales y en los cambios cuantitativos que afectan a los individuos, las poblaciones y las comunidades que los integran -animales, plantas y microorganismos-. El segundo enfoque presume que estas interacciones existen y que tienen dos consecuencias fundamentales:

⁵ Cabe aclarar que en el momento en que se realizó el presente trabajo de investigación e intervención, en México únicamente estaba vigente el Plan y programas de estudio 2011, sin embargo, con la reforma educativa del 2013, en el año 2018 entró en vigor el Plan y programas de estudio 2017 denominado ‘Aprendizajes Clave para la educación integral’. En la actualidad, se implementan ambos en las escuelas; el 2017 para primer y segundo grados y el 2011 para los grados de tercero a sexto; estos, están próximos a sustituirse, derivado de la reforma realizada en el ámbito educativo durante el 2019.

1. El flujo unidireccional de energía a través de organismos autótrofos hacia organismos heterótrofos que se alimentan de autótrofos o de otros heterótrofos.
2. El proceso de reciclado de materiales que se mueven desde el medio abiótico, pasan a través de los cuerpos de organismos vivos y regresan al medio abiótico. Este reciclado depende fuertemente de los descomponedores, organismos que degradan la materia orgánica y generan compuestos inorgánicos (Curtis *et al.*, 2008).

En el marco del fenómeno a modelizar en este trabajo de investigación-intervención docente, se consideró únicamente lo relativo al flujo unidireccional de energía a través de los organismos que describe quién se come a quién, el énfasis recae en las cadenas alimentarias y sus respectivos niveles tróficos. Por razones de pertinencia y complejidad se omitió el trabajo con el ciclo de la materia relacionado con los ciclos biogeoquímicos.

A partir de lo anterior, definimos a los ecosistemas, como el punto de unión o intersección de lo vivo con lo no vivo, ambos constituyentes son mutuamente dependientes y cambiantes en un entramado indisociable e interactivo (Smith y Smith, 2007), es decir, un ecosistema es una unidad organizada en el espacio y el tiempo, formada por componentes bióticos y abióticos interrelacionados, a través de los cuales fluye la energía y circula la materia.

La energía y su flujo en los ecosistemas

El modelo de flujo de energía en los ecosistemas se desarrolló en el intento de responder preguntas simples que surgían de las observaciones de los primeros naturalistas: ¿por qué los animales depredadores son en general pocos y grandes mientras que los herbívoros, en particular los más pequeños suelen ser muy abundantes? más aún ¿por qué son tan abundantes las plantas, incluso los árboles? Estos fenómenos fueron descritos en 1927 por el ecólogo inglés Charles Elton a través de las pirámides de números. Estas pirámides se construyen representando la cantidad de individuos por unidad de área en cada nivel. Los

conjuntos de organismos que comen y son comidos (consumidores depredadores, herbívoros, descomponedores y plantas) ocupan cada uno de los pisos de la pirámide, las plantas siempre en la base, los herbívoros sobre éstas y los carnívoros en el tope.

Una primera aproximación a estas interrogantes se produjo varios años después, de la mano de la segunda ley de la termodinámica. Esta ley considera -en términos físicos- que

en un sistema en el que ocurren procesos de transformación de la energía, una parte de la energía útil se disipa, de modo que sólo una fracción de la energía disponible puede ser usada al mismo tiempo que se produce un incremento en la entropía dentro del sistema (Odum y Barrett, 2006, p. 77).

En los ecosistemas, las plantas aprovechan la energía lumínica que proporciona el Sol y, mediante el proceso de la fotosíntesis, la transforman en energía química, que queda almacenada en los carbohidratos sintetizados durante ese proceso. La energía necesaria para que los herbívoros de un ecosistema se desarrollen no puede ser mayor que la fijada por las plantas a través de la fotosíntesis. Al mismo tiempo, los herbívoros sólo pueden disponer de esa energía si transforman los carbohidratos vegetales en carbohidratos animales. Esta nueva transformación, tal como predice la segunda ley de la termodinámica, no tiene una eficiencia del cien por ciento, ya que parte de la energía útil se disipa, de modo que los animales disponen de una cantidad menor de energía que las plantas. Esto explica por qué los animales son usualmente menos abundantes que las plantas, como describió Elton en sus pirámides de números (Odum y Barrett, 2006).

La fijación de la energía

De la energía solar que alcanza la superficie de la Tierra, una fracción muy pequeña -alrededor del 0.1%- es aprovechada por los sistemas vivos. Incluso cuando la luz incide en una zona con vegetación abundante sólo entre el 1% y el 3% de esa luz interviene en la fotosíntesis. Aun así, una fracción tan pequeña como ésta resulta en la producción -a partir de CO₂, agua y minerales- de varios

miles de gramos (en peso seco) de materia orgánica por año en un solo metro cuadrado de campo o de bosque, lo cual representa un total de más de cien mil millones de toneladas métricas de materia orgánica por año en todo el mundo.

El ecólogo Eugene P. Odum, uno de los investigadores estadounidenses que más aportes realizó para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas utilizó una serie de diagramas de flujo para representar esta dinámica (ver figura 7, p. 64 y figura 8, p. 67).

Una vez fijada la energía solar por las plantas, su paso de un organismo a otro ocurre a través de la alimentación. Un organismo es comido por otro, éste por un tercero y así sucesivamente en una serie de niveles alimentarios o niveles tróficos que forman cadenas. Estas cadenas suelen tener pocos eslabones. En los ecosistemas habitualmente hay cinco eslabones como máximo debido a que sólo una pequeña fracción de la energía que llega a la Tierra está disponible para el eslabón siguiente. A medida que la energía acumulada en cierto nivel trófico es utilizada y transformada en un nivel trófico superior, una parte de ella se disipa, por lo tanto, la energía que se encuentra a disposición de los consumidores de niveles crecientemente más altos va disminuyendo (Sutton y Harmon, 2000).

Si bien la idea de cadena trófica sugiere interacciones sucesivas y un flujo lineal de la energía almacenada, en la mayoría de los ecosistemas, las cadenas tróficas o alimentarias están entrelazadas en tramas complejas con muchas interconexiones. Una trama de este tipo puede involucrar a más de cien especies diferentes. En ella, los depredadores tienen más de un tipo de presa y cada tipo de presa es explotado por varias especies diferentes de depredadores.

Niveles tróficos

La transferencia de energía a través de la cadena alimenticia en un ecosistema, se denomina flujo energético; y se da a partir de tres niveles tróficos. De acuerdo con la ley de la entropía, las transformaciones de energía se dan en un sentido en contraste con el comportamiento cíclico de la materia. Según la segunda ley de la

termodinámica, el flujo de energía disminuye a cada paso por las pérdidas de calor que ocurren durante cada transferencia de energía de una forma a otra (Odum y Barrett, 2006).

Los niveles tróficos se describen a continuación (Solomon, Berg, Martin y Villet, 1998):

1. Los productores: El primer nivel trófico de una trama alimentaria siempre está ocupado por un productor, también llamado autótrofo, en general estos son fotosintéticos, sin embargo, también pueden ser quimiosintéticos.

El 99% de toda la materia orgánica del mundo vivo está constituida por plantas y algas. Esta materia orgánica se expresa en términos de biomasa, parámetro que expresa el peso seco total de todos los organismos en un momento dado y en una superficie definida. La suma de todos los heterótrofos constituye aproximadamente sólo el 1% de la materia orgánica total de la biota. Ese pequeño porcentaje incluye al conjunto de todos los animales y casi todas las bacterias, hongos y otros eucariontes unicelulares y multicelulares que pueblan el planeta.

La productividad de un nivel trófico, de una comunidad o de un ecosistema podría expresarse como gramos o calorías/año efectivamente fotosintetizados por todos los vegetales que la componen. La productividad bruta es una medida de la tasa a la cual los organismos asimilan energía en un nivel trófico determinado. Una cantidad más útil es la productividad neta, que es la productividad bruta menos la materia orgánica consumida para todas las actividades metabólicas de los organismos de ese nivel trófico. La productividad neta también suele expresarse como el incremento en la biomasa en un área y periodo determinados.

La productividad neta es así una medida de la tasa a la cual los organismos almacenan energía, que luego podrá ser capturada por los organismos del siguiente nivel trófico.

2. Los consumidores: La energía ingresa en el mundo animal a través de los herbívoros, animales que comen plantas o algas, llamados consumidores primarios. Cada tipo de ecosistema tiene su dotación característica de herbívoros. Una porción alta de la energía química del alimento digerido por este grupo de animales participa en el mantenimiento de sus procesos metabólicos e impulsa sus actividades cotidianas: la búsqueda de alimento,

su ingestión y digestión, el apareamiento y el cuidado de la progenie, la huida de depredadores, entre otras. Aunque esta energía en general se describe como 'perdida' por respiración, es importante comprender que, para el individuo, ésta es la energía esencial de la cual depende su vida. Al mismo tiempo, gran parte de la materia orgánica que consumen estos animales se elimina sin digerir, es decir, se egesta. Así, sólo una pequeña fracción de la energía química consumida por los herbívoros se convierte en nueva biomasa animal.

A nivel del ecosistema, el incremento en la biomasa animal -que es la suma del incremento en peso de cada animal más el peso de la nueva progenie- representa la energía disponible para el siguiente nivel trófico. Este nivel, el de los consumidores secundarios, está constituido por los carnívoros, animales que comen a otros animales. Sólo una pequeña parte de la sustancia orgánica del cuerpo de los herbívoros se incorpora al cuerpo de los carnívoros.

3. Los saprófagos: La descomposición de la materia orgánica incluye dos procesos, la humificación y la mineralización. El primero lleva a la formación de humus, tierra fértil y oscura que proviene del proceso de descomposición de restos animales y vegetales, la cual da un típico color al suelo y tiene la capacidad de retener los nutrientes que las plantas luego van a utilizar. El proceso de mineralización conduce a la descomposición total de la materia orgánica en elementos inorgánicos esenciales para las plantas.

En el desarrollo de este proceso intervienen un tipo particular de heterótrofos, los saprófagos. Este grupo comprende una diversidad de organismos, entre los que se encuentran hongos, lombrices, moscas, cucarachas, bacterias y también vertebrados carroñeros como las hienas y los buitres, cuyo sustento son los desechos o detritos de la comunidad. Entre estos detritos se incluyen hojas, ramas y troncos de árboles muertos, las raíces de plantas anuales, heces, esqueletos y exoesqueletos abandonados por los insectos después de la muda o vertebrados muertos. Los saprófagos pueden clasificarse a su vez en detritívoros y descomponedores.

Los detritívoros son animales que procesan la materia orgánica y la reducen a fragmentos menores a través de métodos físicos (al desgarrar y fraccionar las presas) y rompen sus moléculas mediante transformaciones químicas (durante el proceso digestivo).

Los descomponedores son bacterias y hongos que, al igual que los detritívoros, actúan sobre los desechos, pero en este caso, su intervención produce la transformación de la materia orgánica en inorgánica mediante procesos químicos.

La función de los descomponedores dentro del ecosistema es crítica dado que, son los principales artífices, con ayuda de los detritívoros, de poner nuevamente a disposición de las plantas los nutrientes esenciales para su desarrollo. La eficiencia de estos procesos está fuertemente condicionada por factores ambientales como el patrón de lluvias y temperaturas, en un delicado equilibrio que en ciertos casos, si se rompe, puede alterar la fertilidad del suelo y llevar, por ejemplo, a la desertificación del ambiente.

Eficiencia ecológica

El aprovechamiento de la energía en los distintos niveles tróficos del ecosistema se puede analizar a la luz del concepto de eficiencia ecológica. Este concepto alude a la capacidad relativa de los componentes bióticos de un ecosistema determinado para explotar sus recursos alimentarios y convertirlos en biomasa. El valor de este parámetro resulta de la suma de las eficiencias de todos los organismos que integran el ecosistema. La eficiencia ecológica depende principalmente de la eficiencia de asimilación -que es la proporción de energía consumida que se asimila- y de la eficiencia de producción neta, que es la proporción de energía asimilada que se destina al crecimiento, el almacenamiento y a la reproducción, a la que se ha sustraído la energía utilizada en la respiración (Odum y Barrett, 2006).

Eficiencia de transferencia energética

Como ya se mencionó, sólo una parte de la energía disponible para cierto nivel trófico es aprovechada por el siguiente nivel, ya que gran parte de ella se pierde durante el proceso de transformación. En general, sólo un 10% de la energía almacenada en una planta se convierte en biomasa animal en el herbívoro que se alimenta de esa planta. En cada nivel sucesivo se encuentra una relación semejante.

Así, si incide un promedio diario de 1 500 kilocalorías de energía lumínica por m^2 en la superficie de un terreno cubierto de plantas, alrededor de 150 kilocalorías se convertirán en material vegetal. De estas 150 kilocalorías, aproximadamente 15 kilocalorías se incorporarán a los organismos herbívoros que comen plantas y alrededor de 1.5 kilocalorías se incorporarán al cuerpo de los carnívoros que depredan a los herbívoros. Aunque la carne es una fuente más concentrada de calorías y de nutrientes que el material vegetal, los carnívoros habitualmente deben gastar más energía en la búsqueda de su alimento que los herbívoros. Así, la productividad neta de los carnívoros y los herbívoros se puede considerar globalmente equivalente. Estos cálculos suponen una eficiencia de transferencia promedio de 10%, pero esta es sólo una estimación promedio aproximada.

Una forma de expresar el flujo de energía y sus pérdidas entre los niveles tróficos es a través de las pirámides de números y en forma más ajustada, a través de las pirámides de biomasa -que expresan la biomasa en peso por unidad de área-. También es posible construir pirámides de flujo de energía que expresan el comportamiento de este parámetro en unidades de energía por unidad de área y de tiempo.

Al igual que las pirámides de números, las de biomasa indican sólo la cantidad de materia orgánica presente en un momento determinado y no la cantidad total de material producido o, como presentan las pirámides de energía, la tasa a la cual se produce.

El estudio del flujo de energía en ecosistemas confirma que conforme a las predicciones de la segunda ley de la termodinámica, la cantidad de niveles tróficos está limitada por la pérdida de energía que se produce en eslabones sucesivos.

Sin embargo, no es posible hacer un modelo predictivo de los componentes de un ecosistema sólo sobre la base de este principio físico debido a que resultaría extremadamente simplista frente a la complejidad y multiplicidad de los procesos que ocurren en los ecosistemas. Los organismos gastan mucha más energía en capturar su alimento en comparación con lo esperado por una simple

transformación física. Más aún, la selección natural contribuye a modelar una batería de adaptaciones que permiten a los animales evitar ser atrapados fácilmente por depredadores, tales como la velocidad de huida o el mimetismo, o aquellas que protegen a las plantas de ser depredadas en exceso por los herbívoros -presencia de espinas, sustancias tóxicas-. Estas adaptaciones involucran gastos energéticos adicionales (Curtis *et al.*, 2008).

Un modelo universal del flujo de energía

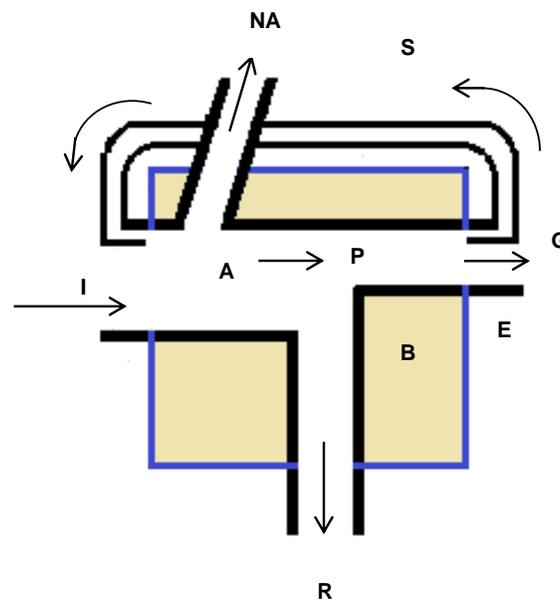
El componente básico de un modelo de flujo de energía se presenta en la Figura 7, el cual se aplica a cualquier componente vivo; ya sea una planta, animal, microorganismo, individuo, población o grupo trófico. Unidos entre sí, estos modelos gráficos permiten representar cadenas alimentarias (Figura 8) o la bioenergética de todo un ecosistema.

En la Figura 7, el recuadro sombreado representa la biomasa de cosecha en pie viva del componente. Aunque la biomasa suele medirse como un tipo de peso - peso vivo o 'húmedo', peso seco o peso sin cenizas- la biomasa debe expresarse en calorías para poder establecer relación entre las tasas de flujo energético y la biomasa en cosecha en pie instantánea o promedio. El suministro total de energía o ingesta se indica como *I*. Para autótrofos estrictos se trata de luz y para heterótrofos estrictos, se trata de alimento orgánico.

La energía fluye paso a paso por la comunidad de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, pero una población dada de una especie puede estar involucrada -y a menudo lo está- en más de un nivel trófico.

Figura 7. Componente de un modelo de flujo ecológico de energía.

COMPONENTE BÁSICO DEL FLUJO DE ENERGÍA



Fuente: tomado de Odum y Barrett (2006, p. 105). Las anotaciones representan lo siguiente: **I** = entradas o ingestión; **NA** = energía no asimilada; **A** = energía asimilada; **P** = producción; **R** = respiración; **G** = crecimiento y reproducción; **B** = biomasa de cosecha en pie; **S** = energía almacenada y; **E** = energía excretada.

Por otro lado, no todo el suministro hacia la biomasa de un organismo, población o nivel trófico se transforma, parte de la misma atraviesa simplemente la estructura biológica, como cuando el alimento es expulsado del conducto digestivo sin ser metabolizado, o cuando la luz atraviesa la vegetación sin ser fijada. Este componente de energía se indica como *NU* -no usado- o *NA* -no asimilado-. La porción usada o asimilada se indica mediante *A* en el diagrama. La proporción entre *A* e *I* -eficiencia de asimilación- varía considerablemente; es decir puede ser muy baja, como cuando se fija la luz en las plantas o cuando los animales detritívoros asimilan alimento; o bien puede ser muy alta, por ejemplo, cuando animales o bacterias consumen alimentos de alta energía, como azúcares o aminoácidos. En los autótrofos la energía asimilada *A* constituye la producción primaria bruta o fotosíntesis bruta. Análogamente, para los heterótrofos representa

el alimento ingerido menos el alimento expulsado -heces-. Por lo tanto, el término producción primaria bruta debe restringirse a la producción autótrofa.

Una característica clave del modelo es la separación de energía asimilada, A , en los componentes P y R . La parte de la energía fija A que se quema y se pierde como calor se denomina respiración, R ; la porción que se transforma en materia orgánica nueva o distinta se designa como producción, P . Así P representa la producción primaria neta en plantas y la producción secundaria en animales. La producción secundaria - PS - en organismos consumidores está formada del crecimiento de tejidos y las camadas de nuevos individuos. El componente P es la energía disponible para el siguiente nivel trófico, mientras que el componente NU o no asimilado -como las heces- entra a la cadena alimentaria del detritos, es decir, queda disponible para ser descompuesta por bacterias y hongos (Odum y Barrett, 2016).

Las cadenas alimentarias son de dos tipos fundamentales: 1) la cadena alimentaria de los herbívoros, la cual comienza a partir de una base de plantas verdes, continúa hacia los herbívoros que consumen células o tejidos de plantas vivas y acaba hasta llegar a los carnívoros; 2) la cadena alimentaria del detrito, abarca desde la materia orgánica sin vida hasta los microorganismos, y desde ahí hasta los organismos que se alimentan de detritos (detritívoros) y sus depredadores. En todos los ecosistemas, las cadenas alimentarias de los herbívoros y la de los detritos se encuentran conectadas, de modo que el cambio del flujo ocurre como respuesta a los suministros o entradas procedentes del exterior del sistema. Por lo tanto, las cadenas alimentarias no se pueden considerar como secuencias aisladas, están conectadas. Este patrón de conexiones se denomina red alimentaria (Odum y Barrett, 2006).

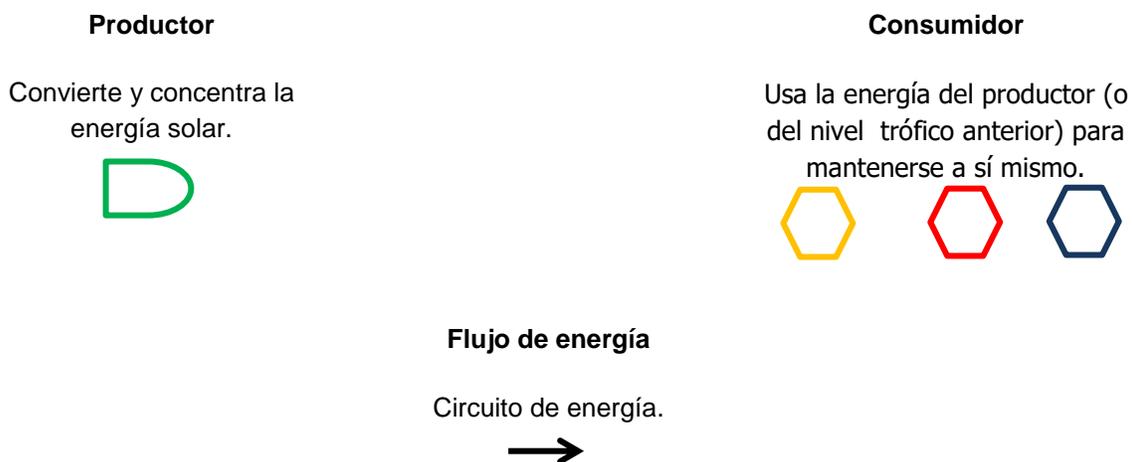
Con base en la explicación disciplinar expuesta anteriormente, en la Tabla 1, se enuncian los elementos, relaciones y condiciones que se identificaron y con las que se construyó el MC, se expresan de esta forma para hacer más evidente la homogeneización de la información lo cual brindó ventajas metodológicas.

Tabla 1. Modelo Científico, inferido a partir de la revisión de la Ecología y presentado en términos de elementos, relaciones y condiciones.

| Elementos | Relaciones | Condiciones |
|--|--|--|
| Sistemas ecológicos Fuentes bióticas (biocenosis) <ul style="list-style-type: none"> • <i>Autótrofos</i> -productores- • <i>Heterótrofos</i> -consumidores- Fuentes abióticas (biotopo) <ul style="list-style-type: none"> • <i>Energía</i> • <i>Nutrientes</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Consumo • Intercambio de masa y energía • Asimilación (mantenimiento, crecimiento, reproducción) • Metabolismo: anabolismo-catabolismo • Termodinámica | <ul style="list-style-type: none"> • Estructura trófica • Abundancia y diversidad biótica • Equilibrio dinámico |

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 8, pretende facilitar gráficamente al lector la forma en que acontece el flujo energético en los ecosistemas, los símbolos que se utilizan -se presentan a continuación- proceden del lenguaje energético propuesto por H.T. Odum citado en Odum y Barret (2006 p. 14) y muestran las relaciones en el modelo. Es oportuno señalar que en los diferentes modelos explicitados por la autora del presente documento se emplean estos símbolos. El código de colores empleado se propuso considerando la función ecológica de los distintos seres vivos, a partir de lo cual, se utilizó el verde para los productores –plantas-; el amarillo para los consumidores primarios o herbívoros; el rojo para los consumidores secundarios o carnívoros y; el azul para los descomponedores.



En este sentido, las dos fuentes consideradas para inferir el modelo explicativo inicial revelan lo siguiente:

Con respecto a la revisión de ideas previas reportadas en la literatura, la base de datos elaborada por el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico - CCADET- de la Universidad Nacional Autónoma de México informó que hasta el 2004 existían 181 ideas sobre las cadenas y tramas tróficas considerando todos los niveles educativos, en el caso particular de educación primaria, se identificaron 80 que procedían de nueve investigaciones diferentes.

Dichas investigaciones arrojan información referente a la estructura trófica; es posible identificar la presencia de productores, consumidores y descomponedores, sin embargo, el énfasis recae en los consumidores y los descomponedores respectivamente y los productores quedan desdibujados al sólo reportar tres ideas previas sobre este nivel trófico.

Estas ideas permiten inferir lo siguiente: a) no se reconoce el papel de la fotosíntesis como base fundamental de las cadenas alimentarias; b) existe una visión teleológica sobre la existencia de algunos seres vivos; c) las interacciones tróficas están dadas por el tamaño y la ferocidad de los consumidores; y c) la descomposición de la materia orgánica se atribuye únicamente a factores abióticos, no se consideran los factores bióticos.

Los ejemplos que se enuncian a continuación dan cuenta de las inferencias anteriores:

- *“Los productores son la población más grande de organismos en una comunidad porque se reproducen a mayor velocidad que las otras poblaciones”* (Leach *et al.*, 1996 en CCADET, 2004)
- *“Algunos organismos juegan un papel en la naturaleza como las lombrices, porque son comidas por los pájaros. Si no hubieran lombrices probablemente no habría pájaros”* (Palmer, 1999 en CCADET, 2004).

- *“La cadena alimenticia terrestre empieza con el león debido a que es el animal más feroz; el león se come al venado y éste se come a la planta; los restos del venado son comidos por el buitre”* (Gallegos et al., 1994 en CCADET, 2004).
- *“La cadena alimenticia terrestre empieza con el águila debido a que es más grande y se come a la víbora, la víbora se come al ratón y el ratón se come a la planta”* (Gallegos et al., 1994 en CCADET, 2004).
- *“El ave se come a la lombriz y también puede comerse al grillo porque el ave es más grande”* (Gallegos et al., 1994 en CCADET, 2004).
- *“Durante la descomposición las cosas muertas desaparecen, la lluvia y el viento lo hacen suceder”* (Hogan y Fisherkeller, 1996 en CCADET, 2004)
- *“El aire, el sol y el calor causan la descomposición de una manzana”* (Leach et al., 1996 en CCADET, 2004).

Por otro lado, la publicación de Driver, Squires y Wood-Robinson (1999) dan cuenta de lo siguiente:

- ❖ Los estudiantes presentan un razonamiento teleológico, asumen que un evento está predeterminado para cubrir una necesidad, un ejemplo de ello es *“Las plantas producen alimento en beneficio de los animales y las personas”* (Roth y Anderson, 1985 citado en Driver et al., 1999),
- ❖ La mayoría de niños no entiende que la energía se transfiere entre los seres vivos (Simpson, 1983 citado en Driver et al., 1999). No reconocen la nutrición y el flujo de energía como un fenómeno complejo, es decir, que aun cuando consideran a los alimentos como necesarios para promover el crecimiento y la salud, no reconocen que estos son la fuente del material que se convierte en parte de su cuerpo en el crecimiento, el mantenimiento fisiológico o la fuente de energía. Smith y Anderson (1986 citado en Driver et al., 1999), señalan que cuando los alumnos relacionan los alimentos con la energía consideran que estos se convierten directamente en ‘sustancia’ o ‘energía’ y que se desvanecen completamente en el proceso. Los niños no

le asignan a menudo una explicación funcional a los alimentos, no se refieren a su papel en el metabolismo.

- ❖ Con respecto a la nutrición de las plantas verdes (Barker, 1985; Pascoe, 1982; Bell y Brook, 1984; Barker y Carr, 1989; Simpson y Arnold, 1982, citados en Driver *et al.*, 1999) pocos estudiantes tienen el conocimiento de que la fotosíntesis proporciona energía y material corporal a la planta, por el contrario, consideran que las plantas toman sus alimentos del suelo. En relación a su función en el ecosistema, solo pocos niños mencionan el aprovechamiento de la energía solar o la fotosíntesis como la razón por la que las plantas verdes son cruciales en la cadena trófica (Brumby, 1982, citado en Driver *et al.*, 1999).
- ❖ Por otro lado, las ideas sobre alimentación y energía, se encuentran poco relacionadas con las ideas sobre las interacciones entre los organismos. Bell y Barker (1982, citado en Driver *et al.*, 1999) señalan que la comprensión de los estudiantes de las relaciones ecológicas depende del concepto de planta y animal que posean. Explican, que existe un limitado reconocimiento de productor y consumidor vinculado con la comprensión de planta y animal. Sin embargo, los alumnos que sí lo hacen, consideran el tamaño y/o la fuerza como una propiedad relacionada con quién se alimenta de quién, es decir, que los organismos más fuertes tienen más energía, que usan para alimentarse de los más débiles que tienen menos energía.
- ❖ Con respecto a la descomposición, (Sequeira y Freitas, 1986; Smith y Anderson, 1986 y; Leach *et al.*, 1992, citados en Driver *et al.*, 1999), los alumnos vinculan este fenómeno con la desaparición de animales muertos o de los frutos sobre la superficie del suelo, lo anterior indica que no tienen en cuenta las ideas sobre la conservación de la materia después de la muerte. Utilizan las palabras hongo, bacteria y descomponedores, pero no están seguros sobre su función. Generalmente, los alumnos no son conscientes del papel que los microorganismos desempeñan en la

naturaleza, especialmente de su papel como descomponedores y recicladores de carbono, nitrógeno, agua y minerales.

A partir del análisis de la literatura citada en este apartado, es posible decir que las explicaciones iniciales evidenciadas por los alumnos referentes al flujo energético en los ecosistemas revelan que existen complicaciones para que se desarrollen modelos científicos escolares y que los que hasta ahora se pueden inferir, carecen de coherencia con respecto a los generados en el ámbito de la ecología.

Es posible notar que los alumnos vinculan la interacción depredador-presa con el tamaño y la ferocidad, sin considerar el nicho ecológico; el concepto que poseen sobre planta y animal no es suficiente ya que existen limitaciones con respecto a sus funciones como productores y consumidores; aunado a ello, existe una visión desdibujada sobre la existencia y función ecológica de los descomponedores. Además de que es evidente una visión teleológica sobre la existencia de los seres vivos.

Con base en lo anterior, en la Tabla 2 se presenta el Modelo Explicativo Inicial -MEI-inferido, se enuncian los elementos, relaciones y condiciones con las que los alumnos explican el flujo energético en los ecosistemas.

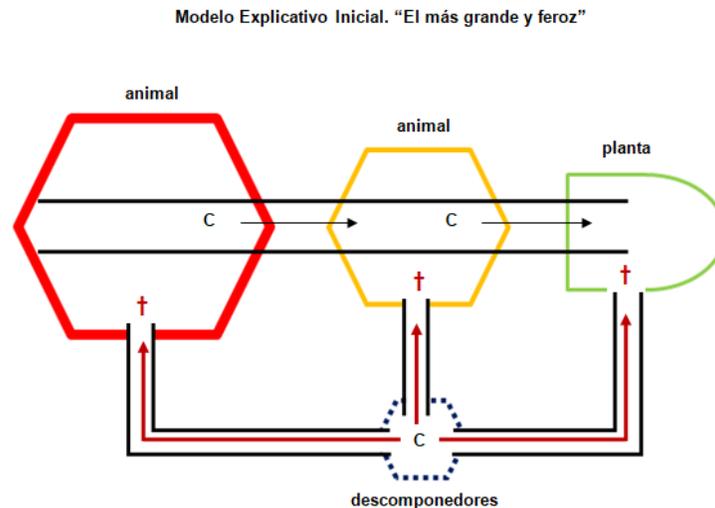
Tabla 2. Modelo Explicativo Inicial. Inferido a partir de las explicaciones iniciales, la información se presenta en términos de entidades, relaciones y condiciones.

| Entidades | Relaciones | Condiciones |
|---|--|--|
| Seres vivos <ul style="list-style-type: none"> • Plantas • Animales Descomponedores | Consumo -ingestión- <ul style="list-style-type: none"> • Animal-Planta • Animal-Animal • Vivo-Vivo • Vivo-Muerto | <ul style="list-style-type: none"> • El que se come a otro tiene que ser más grande y feroz. • Los descomponedores comen o desaparecen cosas muertas y pueden o no ser seres vivos • Los animales o plantas tienen que ser alimento de otros, ello posibilita la existencia de su predador. |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 9, se expresa gráficamente el mismo modelo con la finalidad de facilitar al lector la visión desde la que los alumnos explican el flujo energético en los ecosistemas.

Figura 9. Modelo Explicativo Inicial.



Fuente: elaboración propia. Las flechas indican quién se come a quién en las cadenas alimentarias. **C**= la relación establecida es de consumo, se da del más grande y feroz al más pequeño y débil; los descomponedores se muestran desdibujados debido a que en la mayoría de las ideas previas reportadas, los estudiantes no los reconocen como seres vivos, dicha función se la asignan a factores abióticos. La cruz indica que el proceso de descomposición se da solo sobre animales y plantas muertos. No se reconoce la función ecológica de las plantas como productores que se ubican en la base de las cadenas alimentarias.

4.1.3 La visión de la SEP. Modelo Curricular: "Productores, consumidores y descomponedores"

La Secretaría de Educación Pública -SEP- es la institución del Estado Mexicano encargada de configurar el currículum oficial, éste, se expresa y delimita a partir de los Planes y Programas de Estudio de Educación Básica, dichos documentos concentran los perfiles de egreso de los estudiantes que cursan este nivel educativo, los enfoques de las distintas asignaturas así como los propósitos, competencias, aprendizajes esperados y contenidos.

La revisión y el análisis del currículum oficial permitió la inferencia y construcción del Modelo Curricular -MCu- con el cual se propone desde el Estado enseñar el flujo energético en los ecosistemas, con respecto a este fenómeno, el énfasis se da en las cadenas alimentarias lineales, esta propuesta tiene implicaciones en la construcción de las explicaciones que los alumnos elaboran, estos efectos se discuten en el capítulo cinco destinado a los resultados empíricos.

A partir de lo anterior, en este apartado se da cuenta de los estándares curriculares de ciencias; los propósitos para el estudio de Ciencias Naturales; las competencias para la formación científica básica; los aprendizajes esperados y los contenidos de Exploración de la Naturaleza y la Sociedad; Ciencias Naturales y, Ciencias I con énfasis en Biología que orienta desde la SEP el trabajo docente con respecto al fenómeno en cuestión.

Los *estándares curriculares* son descriptores de logro y definen aquello que los alumnos demostrarán al concluir un periodo escolar; en conjunto con los aprendizajes esperados, constituyen referentes para la evaluación. Se organizan en cuatro periodos escolares de tres grados cada uno, estos cortes corresponden de manera aproximada y progresiva a ciertos rasgos y características clave del desarrollo cognitivo de los alumnos (SEP, 2011).

En los estándares curriculares de ciencias, se plasma la visión de una población que utiliza saberes asociados con la ciencia, que les provea de una formación científica básica al concluir los cuatro periodos escolares. Se presentan en cuatro categorías: conocimiento científico; aplicaciones del conocimiento científico y de la tecnología; habilidades asociadas a la ciencia y; actitudes asociadas a la ciencia.

En la Tabla 3 se exponen los estándares curriculares de ciencias relacionados con el flujo energético en los ecosistemas, con lo cual es posible identificar la progresión en complejidad y gradualidad de los aprendizajes relacionados con dicho fenómeno. Cabe aclarar que el primer corte correspondiente a tercer grado de preescolar no se introdujo en esta tabla considerando que no se hacen en él referencias puntuales sobre el problema de conocimiento referido en este trabajo,

además de que para el segundo y tercer periodo escolar únicamente se presenta la categoría de conocimiento científico porque es la que brinda más elementos para la construcción del MCu y para el cuarto periodo se incluyen además las categorías de habilidades y actitudes asociadas a la ciencia mismas que son coherentes con la postura teórica enunciada en el capítulo dos.

Tabla 3. Estándares curriculares de ciencias relacionados con el flujo de materia y energía en los ecosistemas.

| Periodo escolar | Categoría |
|---|--|
| <p>Segundo periodo escolar Al concluir tercer grado de primaria</p> | <p>Conocimiento científico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprende las relaciones entre plantas y animales y el lugar en donde viven en términos de su nutrición y respiración. • Describe cambios en el desarrollo y crecimiento de los seres vivos, incluido el ser humano. • Identifica cambios en los fenómenos naturales. |
| <p>Tercer periodo escolar Al concluir sexto grado de primaria</p> | <p>Conocimiento científico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconoce la diversidad de los seres vivos, incluidos hongos y bacterias, en términos de la nutrición y la reproducción. • Explica los conceptos de biodiversidad, ecosistema, cadenas alimentarias y ambiente. |
| <p>Cuarto periodo escolar Al concluir tercer grado de secundaria</p> | <p>Conocimiento científico -Biología-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica la unidad y la diversidad en los procesos de nutrición, respiración y reproducción, así como su relación con la adaptación y evolución de los seres vivos. • Explica la dinámica de los ecosistemas en el proceso de intercambio de materia en las cadenas alimentarias, y los ciclos del agua y del carbono. <p>Habilidades asociadas a la ciencia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrolla y aplica modelos para interpretar, describir, explicar o predecir fenómenos y procesos naturales como una parte esencial del conocimiento científico. <p>Actitudes asociadas a la ciencia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valora la ciencia como un proceso social en construcción permanente en el que contribuyen hombres y mujeres de distintas culturas. |

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, con respecto a los *propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales* en Educación Básica se busca que los niños y adolescentes:

- Reconozcan a la ciencia como una actividad humana en permanente construcción, con alcances y limitaciones, cuyos productos se aprovechan según la cultura y las necesidades de la sociedad.
- Desarrollen habilidades asociadas al conocimiento científico y sus niveles de representación e interpretación acerca de los fenómenos naturales.
- Comprendan, desde la perspectiva de la ciencia escolar, procesos y fenómenos biológicos, físicos y químicos.
- Integren los conocimientos de las ciencias naturales a sus explicaciones sobre fenómenos y procesos naturales al aplicarlos en contextos y situaciones diversas (SEP, 2011c).

Estos propósitos abarcan toda la educación básica, sin embargo, la SEP planteó propósitos específicos para cada nivel educativo, mismos que se presentan en la Tabla 4, se incluyen para primer y segundo grado referentes a la asignatura de Exploración de la Naturaleza y la Sociedad (SEP, 2011 a); de tercero a sexto de primaria referidos a la asignatura de Ciencias Naturales (SEP, 2011c) y, de primero a tercero de secundaria relativos a la asignatura de Ciencias I con énfasis en Biología (SEP, 2011g).

Tabla 4. Propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales en Educación Básica.

| Asignatura | Propósitos Con el estudio de la asignatura se pretende que las niñas y los niños: |
|---|---|
| Exploración de la Naturaleza y la Sociedad Primer y Segundo grado de Primaria | <ul style="list-style-type: none"> • Reconozcan su historia personal, familiar y comunitaria, las semejanzas entre los seres vivos, así como las relaciones entre los componentes de la naturaleza y la sociedad del lugar donde viven. |
| Ciencias Naturales Tercero a Sexto grado de Primaria | <ul style="list-style-type: none"> • Interpreten, describan y expliquen con base en modelos, algunos fenómenos y procesos naturales cercanos a su experiencia. • Conozcan las características comunes de los seres vivos y las usen para inferir algunas relaciones de adaptación que establecen con el ambiente. |

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Ciencias Educación Secundaria</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Valoren la ciencia como una manera de buscar explicaciones, en estrecha relación con el desarrollo tecnológico y como resultado de un proceso histórico, cultural y social en constante transformación. • Avancen en el desarrollo de sus habilidades para representar, interpretar, predecir, explicar y comunicar fenómenos biológicos, físicos y químicos. • Amplíen su conocimiento de los seres vivos, en términos de su unidad, diversidad y evolución. |
|---|---|

Fuente: tomado de SEP (2011)

Con respecto a las *competencias*, es necesario aclarar que forman parte del enfoque didáctico, guardan estrecha relación con los propósitos y los aprendizajes esperados, y contribuyen a la consolidación de las competencias para la vida y al logro del perfil de egreso. En este contexto, son entendidas como la capacidad de responder a diferentes situaciones, e implica de los alumnos un saber hacer -habilidades- con saber -conocimiento-, así como la valoración de las consecuencias de ese hacer -valores y actitudes-.

Es necesario decir, que el desarrollo de las competencias se basa en los aprendizajes esperados y en los contenidos, en este sentido, se profundizan y amplían de manera continua a partir de las situaciones en las que participan los alumnos en la escuela y en su vida diaria.

Con respecto a las competencias para la formación científica básica, es posible identificarlas en dos momentos, el primero corresponde a las denominadas competencias específicas para primero y segundo grado las cuales se desarrollan en el Campo Formativo de Exploración de la Naturaleza y la Sociedad y aunque son dos, se retoma únicamente la siguiente:

- Exploración de la naturaleza y la sociedad en fuentes de información. Implica que obtengan información mediante la percepción y la observación de seres vivos y fenómenos naturales. Promueve la formulación de preguntas, la experimentación, la búsqueda, selección y clasificación de información para dar explicaciones (SEP, 2011a).

El segundo momento, corresponde a las que se desarrollan en los espacios curriculares de Ciencias Naturales y, Ciencias, mismos que se desarrollan de tercero de primaria a tercero de secundaria, se denominan competencias para la formación científica básica y se retoma la siguiente:

- Comprensión de fenómenos y procesos naturales desde la perspectiva científica. Implica que los alumnos adquieran conocimientos, habilidades y actitudes que les permitan comprender mejor los fenómenos naturales, y relacionar estos aprendizajes con la vida cotidiana, de manera que entiendan que la ciencia es capaz de responder sus preguntas y explicar fenómenos naturales.

En este sentido, los alumnos plantean preguntas y buscan respuestas sobre diversos fenómenos y procesos naturales para fortalecer su comprensión del mundo. A partir del análisis desde una perspectiva sistémica, podrán desarrollar sus niveles de representación e interpretación acerca de los fenómenos y los procesos naturales. Igualmente, podrán diseñar y realizar proyectos, experimentos e investigaciones, así como argumentar utilizando términos científicos de manera adecuada y fuentes de información confiables, en diversos contextos y situaciones, para desarrollar nuevos conocimientos. (SEP, 2011c; 2011d, 2011e, 2011f, 2011g).

Por otro lado, *los aprendizajes esperados* son indicadores de logro, que en términos de la temporalidad establecida en los programas de estudio, definen lo que se espera de cada alumno en términos de saber, saber hacer y saber ser. Gradúan progresivamente los conocimientos, las habilidades, las actitudes y los valores que los alumnos deben alcanzar para acceder a conocimientos cada vez más complejos. Desde esta visión, los contenidos, orientan el estudio de los componentes de la naturaleza y la sociedad tomando en cuenta los procesos de aprendizaje.

Finalmente, los *contenidos* referentes al flujo de materia y energía en los ecosistemas se estudian gradualmente en el bloque II de educación primaria y en el bloque I de educación secundaria.

En primer grado, el bloque se titula “*Soy parte de la naturaleza*” y tiene como objetivo que los alumnos exploren el lugar donde viven, haciendo hincapié en componentes naturales como el Sol, el agua, el suelo, las montañas, los ríos, los lagos, los animales y las plantas silvestres. Se pretende que identifiquen las transformaciones en la naturaleza y los cambios en animales y plantas cuando nacen, crecen, se reproducen y mueren (SEP, 2011a).

En segundo grado, el bloque se titula “*Exploramos la naturaleza*”, se busca que los alumnos identifiquen las características del Sol, las estrellas, la Luna, y las diferencias entre montañas y llanuras, y entre ríos, lagos y mares. Se busca que reconozcan las características de los lugares donde viven plantas y animales silvestres (asociadas con el frío, calor, abundancia o escasez de agua) e identifiquen diferencias y semejanzas de plantas y animales del medio acuático y terrestre (SEP, 2011b).

En tercero y cuarto grado es en donde se desarrollan con mayor profundidad los contenidos relativos a la nutrición y la respiración. En el caso específico de tercero, el bloque se titula “¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Soy parte del grupo de los animales y me relaciono con la naturaleza”, se avanza en el estudio de las características e interacciones de los seres vivos que les confieren unidad y diversidad, en relación con las funciones de nutrición y respiración. Se da continuidad al conocimiento de las interacciones entre los seres vivos y otros componentes naturales, mediante la indagación y la revisión de procesos como la nutrición y la respiración, para ello, los alumnos deben diferenciar que las plantas son organismos autótrofos y realizan el intercambio de gases a través de los estomas, mientras que los animales son heterótrofos y presentan diferencias estructurales mediante las cuales realizan la respiración (tráqueas, pulmones,

branquias, piel). Se favorece la reflexión respecto a que los animales incluido el ser humano dependen del oxígeno producido por las plantas (SEP, 2011c).

Con respecto a cuarto grado, el bloque se titula “*¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Los seres vivos formamos parte de los ecosistemas*”. En él, se continúa el estudio de las interacciones de los seres vivos con el medio natural, abordando los procesos de reproducción. Se identifican las características de los hongos y las bacterias, lo cual contribuye al desarrollo de la noción de biodiversidad que se considerará en grados posteriores. Se analiza la conformación de los ecosistemas y de las cadenas alimentarias, así como sus alteraciones por causas humanas, con el fin de conocer y promover acciones para su cuidado.

Se avanza con el conocimiento de las interacciones entre los seres vivos y la naturaleza, por medio del análisis de diferentes formas de reproducción de las plantas, así como la intervención de otros seres vivos y el medio natural en esta función, por ejemplo, en la polinización y dispersión de semillas.

Se profundiza en el conocimiento de los seres vivos al identificar que los hongos y las bacterias crecen, se nutren y reproducen al igual que las plantas y los animales. También se promueve la reflexión acerca de los beneficios y riesgos que estos organismos representan para otros seres vivos, la estabilidad de las cadenas alimentarias, la salud de las personas y algunas actividades humanas, en especial en la industria alimentaria y farmacéutica.

Posteriormente, se promueve el análisis de la conformación del ecosistema considerando factores físicos -agua, aire y suelo- y biológicos -plantas, animales, hongos y bacterias- que lo constituyen, así como sus interacciones.

Se resalta que la estabilidad del ecosistema se puede alterar por la modificación de alguno de los factores que la conforman: la calidad del agua y el aire, abundancia o ausencia de una especie, extracción excesiva de algún componente natural, cambios en el clima, entre otras condiciones. Así mismo se analiza la

estructura de las cadenas alimentarias, las cuales se integran por los productores, consumidores y descomponedores. Se fomenta la reflexión respecto a que la forma en que la alteración de uno de sus eslabones, ocasionada en particular por la intervención humana afecta toda la cadena y pone en riesgo la existencia de los seres vivos; con ello se promueve que los alumnos reflexionen respecto a que las personas también forman parte de los ecosistemas y, por lo tanto, de la naturaleza (SEP, 2011d).

En quinto grado, el bloque se titula *“¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Los seres vivos son diversos y valiosos, por lo que contribuyo a su cuidado”*. Se plantea el estudio de ciertas interacciones entre los seres vivos, algunas características de los ecosistemas y su aprovechamiento, así como las prioridades ambientales y el cuidado de las especies endémicas de la comunidad.

El bloque aborda principalmente contenidos del ámbito de la biodiversidad y la protección del ambiente, y se relaciona con el conocimiento científico y conocimiento tecnológico en la sociedad. Se avanza en la comprensión de las interacciones que establecen los seres vivos con los factores físicos al desarrollar el concepto de biodiversidad. A partir del análisis de las prioridades ambientales, asociadas a la pérdida de la biodiversidad y la contaminación del agua, los alumnos avanzan en la problemática ambiental nacional, en el desarrollo de su habilidad para proponer soluciones y en la reflexión acerca de su participación, colaboración y responsabilidad en la prevención y mitigación de estos problemas (SEP, 2011e).

En sexto grado, el bloque se titula *“¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Cambiamos con el tiempo y nos interrelacionamos, por lo que contribuyo a cuidar el ambiente para construir un entorno saludable”*. En él se profundiza en el estudio de cambios en los seres vivos y los procesos de extinción. Se centra en el ámbito de la biodiversidad y protección del ambiente; parte del análisis sobre los cambios en los seres vivos y el medio natural a lo largo de la historia de la vida en la Tierra, así como las causas y consecuencias de los procesos de extinción ocurridos hace

más de diez mil años y en el presente, para reflexionar acerca de la importancia de contribuir al cuidado de los seres vivos. Se pretende que los alumnos se reconozcan como parte del ambiente, el cual se integra de componentes naturales, sociales y sus interacciones, y reflexionen acerca de cómo la modificación de un componente incide en otros (SEP, 2011f).

Finalmente, el último grado en el que se aborda el flujo de materia y energía en los ecosistemas es en primer grado de secundaria en la asignatura de Ciencias I con énfasis en Biología, se trabaja en el primer y segundo bloque. Con respecto al primero titulado “*La biodiversidad: resultado de la evolución*” se inicia con el análisis comparativo de las funciones de nutrición, respiración y reproducción, desde lo más familiar y conocido por los alumnos que es el cuerpo humano, orientado a reconocer la unidad y diversidad de los seres vivos. La perspectiva se amplía para dar continuidad al estudio de la interdependencia de la vida en la dinámica de los ecosistemas, en términos de las transformaciones de materia y energía debidas a las interacciones entre los seres vivos y el ambiente en las cadenas alimentarias, los ciclos del agua y del carbono. El acercamiento al proceso evolutivo se plantea a partir de las nociones de adaptación y sobrevivencia diferencial como base para explicar la diversidad de la vida.

El segundo bloque se titula “La nutrición como base para la salud y la vida” y en él se avanza en el fortalecimiento de la cultura de la prevención al destacar la importancia de la nutrición en la salud, así como la dieta correcta y el consumo regular de agua simple para evitar enfermedades y trastornos. Se promueve el reconocimiento del valor nutritivo de los alimentos de origen mexicano, favoreciendo la perspectiva intercultural.

En cuanto a las interacciones que establecen los seres vivos con el ambiente se aborda la diversidad de estrategias desarrolladas en las poblaciones para la obtención de alimentos como resultado de un proceso evolutivo, y se reconoce la trascendencia de la participación de los organismos autótrofos como base de las cadenas alimentarias (SEP, 2011g).

En la Tabla 5 se presentan los aprendizajes esperados y los contenidos relativos al flujo de materia y energía en los ecosistemas explicitados en los programas de estudio de educación primaria y secundaria.

Tabla 5. Aprendizajes esperados y contenidos relativos al flujo de materia y energía en los ecosistemas.

| Primer grado Bloque II Soy parte de la naturaleza | |
|--|--|
| Aprendizajes esperados <ul style="list-style-type: none"> • Describe características de los componentes naturales del lugar donde vive: Sol, agua, suelo, montañas, ríos, lagos, animales y plantas silvestres. • Identifica cambios de plantas y animales: nacen, crecen, se reproducen y mueren. • Clasifica las plantas y los animales a partir de características generales: tamaño, forma, color, lugar donde habitan y de qué se nutren. | Contenidos <ul style="list-style-type: none"> • La naturaleza del lugar donde vivo. • Cambios en la naturaleza del lugar donde vivo. • Semejanzas y diferencias entre plantas y animales. |
| Segundo grado Bloque II. Exploramos la naturaleza | |
| Aprendizajes esperados <ul style="list-style-type: none"> • Describe tomando en cuenta el frío, el calor, la abundancia o la escasez de agua, las características de los lugares donde viven plantas y animales silvestres. • Identifica semejanzas y diferencias entre plantas y animales del medio acuático y terrestre. | Contenidos <ul style="list-style-type: none"> • Cómo son los lugares donde viven plantas y animales silvestres. • Cómo son plantas del medio acuático y terrestre. |
| Tercer grado Bloque II. ¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Soy parte del grupo de los animales y me relaciono con la naturaleza. | |
| Aprendizajes esperados <ul style="list-style-type: none"> • Identifica distintas formas de nutrición de plantas y animales y su relación con el medio natural. | Contenidos <p>¿Cómo nos nutrimos y respiramos los seres vivos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nutrición autótrofa en plantas: proceso general en que las plantas aprovechan la luz del Sol, agua, sales minerales y dióxido de carbono del medio para nutrirse y producir oxígeno. • Nutrición heterótrofa en animales: forma en que los herbívoros, carnívoros y omnívoros se alimentan de otros |

| | |
|--|--|
| | organismos para nutrirse. |
| Cuarto grado | |
| Bloque II. ¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Los seres vivos formamos parte de los ecosistemas. | |
| Aprendizajes esperados | Contenidos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Identifica que los hongos y las bacterias crecen, se nutren y reproducen igual que otros seres vivos. • Explica la importancia de los hongos y las bacterias en la interacción con otros seres vivos y el medio natural. • Explica que las relaciones entre los factores físicos (agua, suelo, aire y Sol) y biológicos (seres vivos) conforman el ecosistema y mantienen su estabilidad. • Explica la estructura general de las cadenas alimentarias y las consecuencias de su alteración por las actividades humanas. | <p>¿En qué se parecen los hongos y las bacterias a las plantas y los animales?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparación del crecimiento, la nutrición y la reproducción de hongos y bacterias con las mismas funciones vitales de plantas y animales. • Los hongos y bacterias como seres vivos. • Evaluación de los beneficios y riesgos de las interacciones de hongos y bacterias con otros seres vivos y el medio natural en la estabilidad de las cadenas alimentarias y en la salud de las personas. <p>¿Cómo funcionan los ecosistemas y las cadenas alimentarias?</p> <p>Ecosistema: relación entre los factores físicos y biológicos de la naturaleza.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la estabilidad del ecosistema por la modificación de alguno de los factores que lo conforman. • Valoración de las estrategias locales y nacionales orientadas a mantener la estabilidad de los ecosistemas. • Estructura y funcionamiento de las cadenas alimentarias: productores, consumidores y descomponedores. • Evaluación de las consecuencias de las actividades humanas en la alteración de las cadenas alimentarias. • Reflexión acerca de que las personas somos parte de los ecosistemas y la naturaleza. |
| Quinto grado | |
| Bloque II. ¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos? Los seres vivos son diversos y valiosos, por lo que contribuyo a su cuidado. | |
| Aprendizajes esperados | Contenidos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Reconoce que la biodiversidad está conformada por la variedad de seres vivos y de ecosistemas. • Identifica algunas especies endémicas del país y las consecuencias de su pérdida. | <p>¿Qué es la biodiversidad?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biodiversidad: cantidad y variedad de grupos de seres vivos y ecosistemas. • Variedad de grupos de seres vivos y diferencias en sus características físicas. • Identifica a las personas como parte de los seres vivos, la naturaleza y la |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Compara las características básicas de los diversos ecosistemas del país para valorar nuestra riqueza natural. • Analiza el deterioro de los ecosistemas a partir del aprovechamiento de recursos y de los avances técnicos en diferentes etapas del desarrollo de la humanidad: recolectora-cazadora, agrícola e industrial. • Propone y participa en acciones que contribuyan a prevenir la contaminación del agua. | <p>biodiversidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Características de especies endémicas y ejemplos de endemismo en el país. • Causas y consecuencias de la pérdida de especies en el país. <p>¿Qué son los ecosistemas y cómo los aprovechamos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecosistemas acuáticos y terrestres del país. • Relación entre la satisfacción de necesidades básicas, los estilos de vida, el desarrollo técnico y el deterioro de la riqueza natural. • Evaluación de los estilos de vida y del consumo de recursos para la satisfacción de las necesidades e las sociedades humanas en función del deterioro de la riqueza natural. <p>¿Cómo cuido la biodiversidad?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Causas de la pérdida de la biodiversidad en la entidad y en el país, y acciones para el cuidado de la diversidad biológica en la entidad. • Valoración de la participación y responsabilidad personales y compartidas en la toma de decisiones, así como en la reducción y la prevención de la pérdida de la biodiversidad. • Causas de la contaminación del agua en los ecosistemas y acciones para prevenirla. • Valoración de la participación y responsabilidad individuales en la toma de decisiones, y en la prevención y reducción o mitigación de la contaminación del agua. |
| <p>Sexto grado</p> <p>Bloque II. ¿Cómo somos y cómo vivimos los seres vivos?</p> <p>Cambiamos con el tiempo y nos interrelacionamos, por lo que contribuyo a cuidar el ambiente para construir un entorno saludable.</p> | |
| <p>Aprendizajes esperados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica que es parte del ambiente y que éste se conforma por los componentes sociales, naturales y sus interacciones. | <p>Contenidos</p> <p>¿Por qué soy parte del ambiente y cómo lo cuido?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente: componentes naturales –físicos y biológicos-, sociales –económicos, políticos y culturales-, y sus interacciones. • Toma de decisiones personales y libres encaminadas a la práctica de acciones de consumo sustentable con base en los |

| | |
|---|---|
| | beneficios para el ambiente y la calidad de vida. |
| Primer grado de Secundaria Ciencias I Énfasis en Biología Bloque I. La biodiversidad: resultado de la evolución. Bloque II. La nutrición como base para la salud y la vida. | |
| <p>Aprendizajes esperados</p> <p>Bloque I</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se reconoce como parte de la biodiversidad al comparar sus características con las de otros seres vivos, e identificar la unidad y diversidad en relación con las funciones vitales. • Representa la dinámica general de los ecosistemas considerando su participación en el intercambio de materia y energía en las redes alimentarias y en los ciclos del agua y del carbono. • Argumenta la importancia de participar en el cuidado de la biodiversidad con base en el reconocimiento de las principales causas que contribuyen a su pérdida y sus consecuencias. <p>Bloque II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Argumenta la importancia de las interacciones entre los seres vivos y su relación con el ambiente, en el desarrollo de la diversidad de adaptaciones asociadas con la nutrición. • Explica la participación de los organismos autótrofos y los heterótrofos como parte de las cadenas alimentarias en la dinámica de los ecosistemas. | <p>Contenidos</p> <p>Bloque I</p> <ul style="list-style-type: none"> • El valor de la biodiversidad • Comparación de las características comunes de los seres vivos. • Representación de la participación humana en la dinámica de los ecosistemas. • Valoración de la biodiversidad: causas y consecuencias de su pérdida. <p>Bloque II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biodiversidad como resultado de la evolución: relación ambiente, cambio y adaptación. • Análisis comparativo de algunas adaptaciones relacionadas con la nutrición. • Valoración de la importancia de los organismos autótrofos y heterótrofos en los ecosistemas y de la fotosíntesis como base de las cadenas alimentarias. |

Fuente: tomado de SEP (2011)

A partir de lo anterior, el Modelo Curricular que aquí se presenta hace referencia principalmente a los aprendizajes esperados y a los contenidos propuestos para tercer y cuarto grado de educación primaria, considerando que es precisamente en estos grados en los que se aborda con mayor profundidad el flujo energético en los ecosistemas haciendo especial referencia en este nivel académico a las cadenas alimentarias.

En el Modelo Curricular expresado en la Tabla 6 se evidencian los elementos, las relaciones y las condiciones que se infirieron a partir de la revisión de los materiales curriculares.

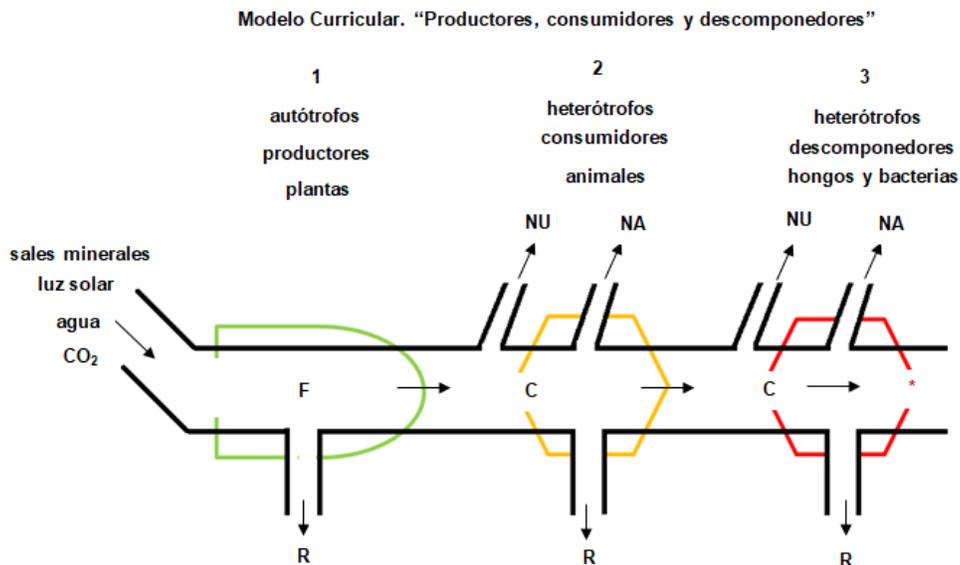
Tabla 6. Modelo Curricular inferido a partir de los materiales editados por la Secretaría de Educación Pública.

| Entidades | Relaciones | Condiciones |
|--|---|---|
| Ecosistemas Seres vivos <ul style="list-style-type: none"> • Hongos y bacterias (descomponedores) • Plantas (productores) • Animales (consumidores) Medio natural <ul style="list-style-type: none"> • Agua • Aire • Suelo • Sol | Interacción entre los seres vivos con el ambiente: <ul style="list-style-type: none"> • Nutrición (cadenas alimentarias) | <ul style="list-style-type: none"> • Hábitat • Estabilidad/Equilibrio • Fotosíntesis • Niveles tróficos |

Fuente: elaboración propia. La información se presenta en términos de entidades, relaciones y condiciones.

En la Figura 10, se expresa gráficamente el mismo modelo con la finalidad de facilitar al lector la visión desde la que el currículum oficial propone que se enseñe el flujo energético en los ecosistemas.

Figura 10. Modelo Curricular



Fuente: elaboración propia. El énfasis está dado en la estructura trófica **1,2,3**= niveles tróficos, se busca el reconocimiento de los seres vivos y su función en el ecosistema, Las flechas indican la dirección del flujo de la energía. **F**= fotosíntesis realizada por los productores; **C**= la relación establecida es de consumo -nutrición- reflejada en las cadenas alimentarias; **NU** y **NA**= energía no utilizada o no asimilada -excretas-; **R**= respiración.

4.1.4 Hacia dónde ir: Modelo Científico Escolar de Arribo

Finalmente al tensionar los tres modelos previos -científico, explicativo inicial y curricular- se construyó el Modelo Científico Escolar de Arribo -MCEA- que se presenta en la Tabla 7, en él, se incorporaron los elementos, relaciones y condiciones necesarias y pertinentes para que al aproximarse a él los alumnos puedan dar explicaciones razonadas y argumentadas en torno al flujo energético en los ecosistemas que se evidencia en las cadenas y tramas tróficas.

En la Tabla 7 se explicita el MCEA propuesto, en él se buscó que los alumnos reconocieran la estructura y funcionamiento de las relaciones interespecíficas que posibilitan el flujo energético en los ecosistemas así como el uso que se da al mismo en torno al metabolismo, crecimiento y reproducción. Cabe recordar que aunque en este modelo se incluyeron fuentes abióticas como constituyentes del mismo, el tratamiento que se dio a estos elementos fue secundario en el entendido de que el énfasis principal se encuentra en torno al flujo energético y no al ciclo de la materia, lo anterior se ve reflejado en el diseño de la secuencia didáctica.

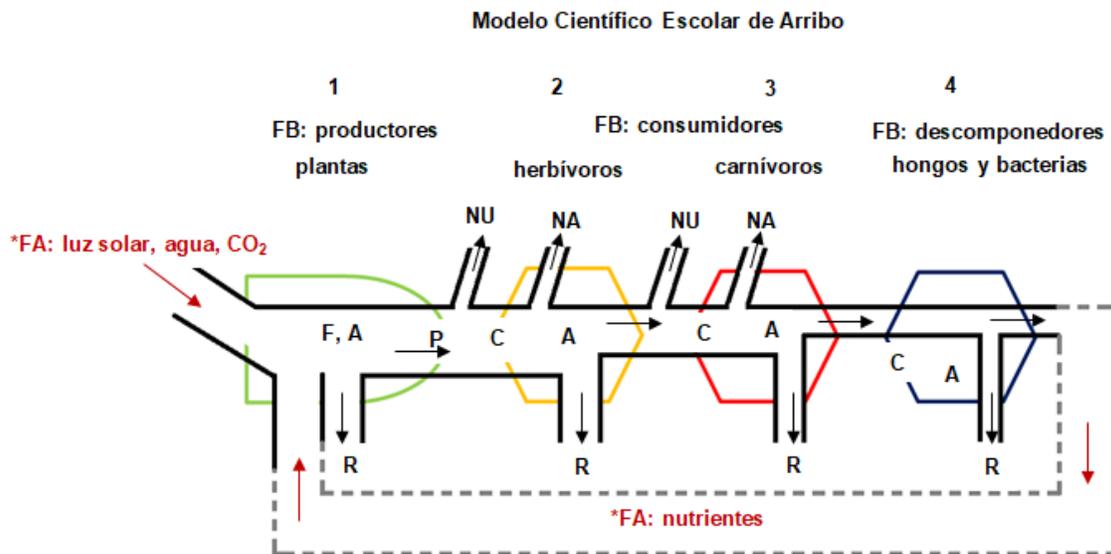
Tabla 7. Modelo Científico Escolar de Arribo, se expresan las entidades, relaciones y condiciones que lo integran

| Entidades | Relaciones | Condiciones |
|---|---|--|
| Ecosistemas Fuentes bióticas <ul style="list-style-type: none"> • <i>Autótrofos</i> -productores- • <i>Heterótrofos</i> -consumidores y descomponedores- Fuentes abióticas <ul style="list-style-type: none"> • <i>Energía</i> • <i>Nutrientes</i> | Interdependencia <ul style="list-style-type: none"> • Consumo (relación depredador-presa) • Intercambio de materia y energía • Asimilación (mantenimiento, crecimiento y reproducción) | <ul style="list-style-type: none"> • Estructura trófica |

Fuente: elaboración propia.

En correspondencia con lo anterior, en la Figura 11, se expresa gráficamente el mismo modelo con la finalidad de brindar al lector el dispositivo teórico-metodológico que sirvió como referente para el diseño de la secuencia didáctica.

Figura 11. Modelo Científico Escolar de Arriba, propuesto después de tensionar el: MC, MEI y MCu.



Fuente: elaboración propia. El énfasis está dado en las **FB**=fuentes bióticas y la estructura trófica; **1, 2, 3, 4**= niveles tróficos, se busca el reconocimiento de los seres vivos y su función en el ecosistema, Las flechas indican la dirección del flujo de la energía. **F**= fotosíntesis realizada por los productores; **P**=producción; **A**=asimilación; **C**= la relación establecida es de consumo -nutrición- reflejada en las cadenas alimentarias; **NU** y **NA**= energía no utilizada o no asimilada -excretas-; **R**= respiración; ***FA**= fuentes abióticas -el tratamiento que se da a las mismas es secundario de acuerdo con los propósitos del modelo-.

4.2 “El flujo energético en el mariposario”. Diseño de la secuencia didáctica.

Organizar la enseñanza entendiendo al conocimiento como algo que construir y no como algo dado, favorece la reconstrucción del conocimiento en el aula propiciando -a partir del enfoque teórico en que se sustenta este trabajo- la modelización de distintos fenómenos de la naturaleza. Para lograr lo anterior, es necesario promover el desarrollo de una actividad científica escolar que permita a

los alumnos comprender mejor los fenómenos y utilizarlos en la resolución de situaciones cotidianas.

En este apartado, se hace referencia al diseño de la secuencia didáctica para la modelización del flujo energético en los ecosistemas, misma que tiene como población objetivo a alumnos de cuarto grado de educación primaria de la Ciudad de México.

En el diseño de la secuencia didáctica se buscó en las diferentes etapas de la misma propiciar el tránsito o enriquecimiento de los Modelos Explicativos Iniciales de los alumnos -de sentido común- a uno más complejo y con la línea explicativa de la ciencia, por ello, se utilizó el Modelo Científico Escolar de Arribo como criterio de diseño.

Aunado a lo anterior, se consideraron los cuatro tipos de actividades descritas por Sanmartí (2002): a) actividades de iniciación, exploración, explicitación, planteamiento del problema; b) actividades de introducción de nuevas variables para promover la evolución de los modelos iniciales; c) actividades de síntesis, elaboración de conclusiones y de estructuración del conocimiento y; d) actividades de transferencia a otros contextos y de generalización.

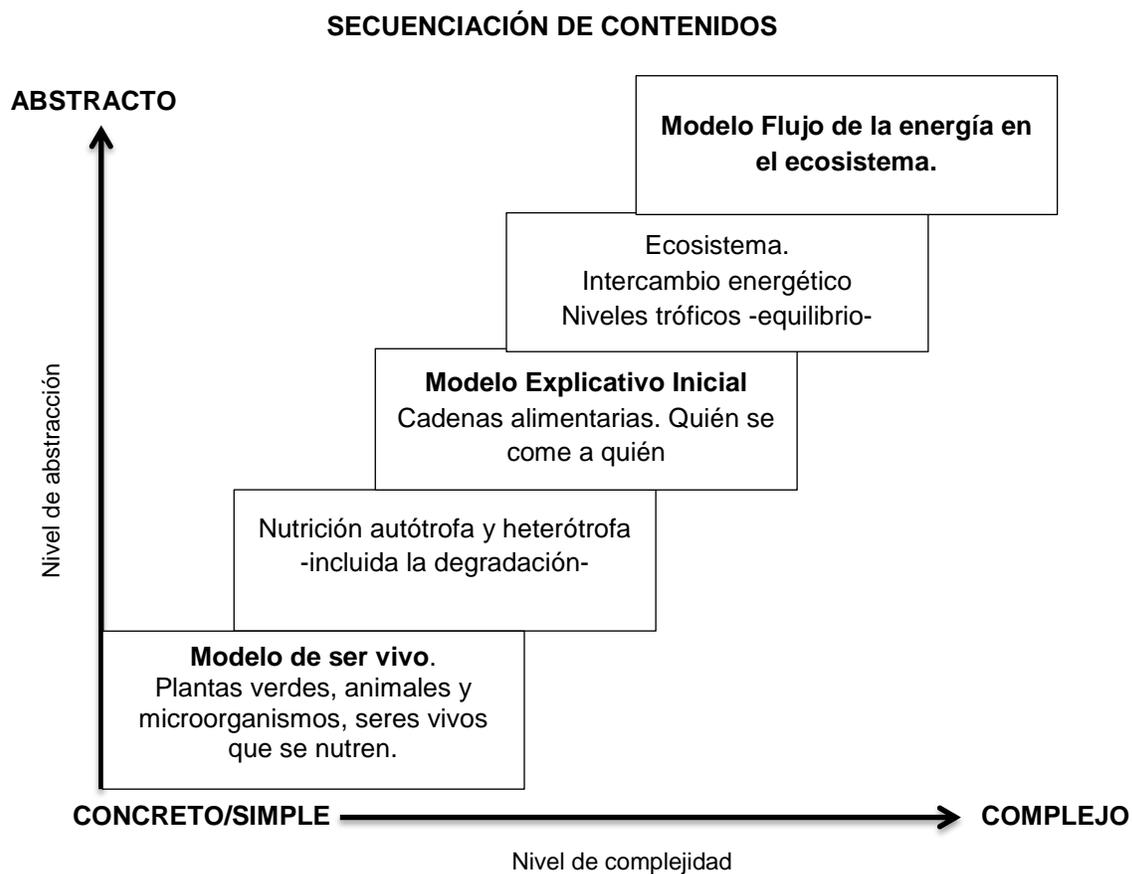
El objetivo de secuenciar las actividades con este enfoque atendió a la pertinencia de ir de conocimientos simples y concretos a otros más complejos y abstractos que posibilitaran que los alumnos razonaran sobre el fenómeno en cuestión y argumentaran sobre el modelo construido; además se buscó que se autoevaluaran y regularan sus formas de pensar y actuar.

El planteamiento de los objetivos de aprendizaje guió la selección de los contenidos, de las actividades y de la evaluación. La elección de los contenidos curriculares se realizó considerando dos situaciones; la primera es que permiten *“mejorar las teorías de los jóvenes sobre el mundo, para que lo puedan comprender mejor y actuar sobre él con más eficacia”* (Claxton citado en Sanmartí, 2002, p. 247) por lo que se incluyeron contenidos conceptuales, procedimentales,

actitudinales y se propició implícitamente la mejora en su capacidad de argumentación; la segunda es que son contenidos que tienen implicaciones sociales y por lo tanto deben de ser abordados con mayor profundidad.

La Figura 12 esquematiza la secuenciación de los contenidos, en ella se evidencia la gradualidad en el nivel de abstracción y complejidad, se explicitan los elementos, relaciones y condiciones que se fueron incorporando o reestructurando en el modelo.

Figura 12. Secuenciación de contenidos. Propuesta gradual que posibilita la incorporación, construcción o reconstrucción del modelo del flujo energético en los ecosistemas.



Fuente: tomado y modificado de Sanmartí (2002, p. 194).

La secuencia didáctica se diseñó para desarrollarse en seis sesiones de 60 minutos cada una, en las que los alumnos trabajarían en pequeños equipos e

individualmente. Cada actividad tuvo diferentes propósitos, sin embargo, el objetivo fue avanzar en el desarrollo de los aprendizajes esperados y enriquecer el modelo explicativo de los alumnos relacionado con las cadenas alimentarias.

Los propósitos específicos de la implementación del instrumento didáctico fueron que los alumnos:

- Reconocieran a las fuentes bióticas y abióticas como elementos que integran los ecosistemas.
- Reconocieran a las plantas, animales y microorganismos -hongos y bacterias- como fuentes bióticas que necesitan nutrirse.
- Diferenciaran la nutrición autótrofa de la heterótrofa.
- Reconocieran las cadenas y tramas alimentarias como las interacciones interespecíficas que se dan al interior de los ecosistemas y el flujo de la energía que las mismas posibilitan.
- Reflexionaran sobre la importancia del flujo de la energía en el ecosistema con respecto a la sostenibilidad del mismo.

Tabla 8. Fases de la secuencia didáctica.

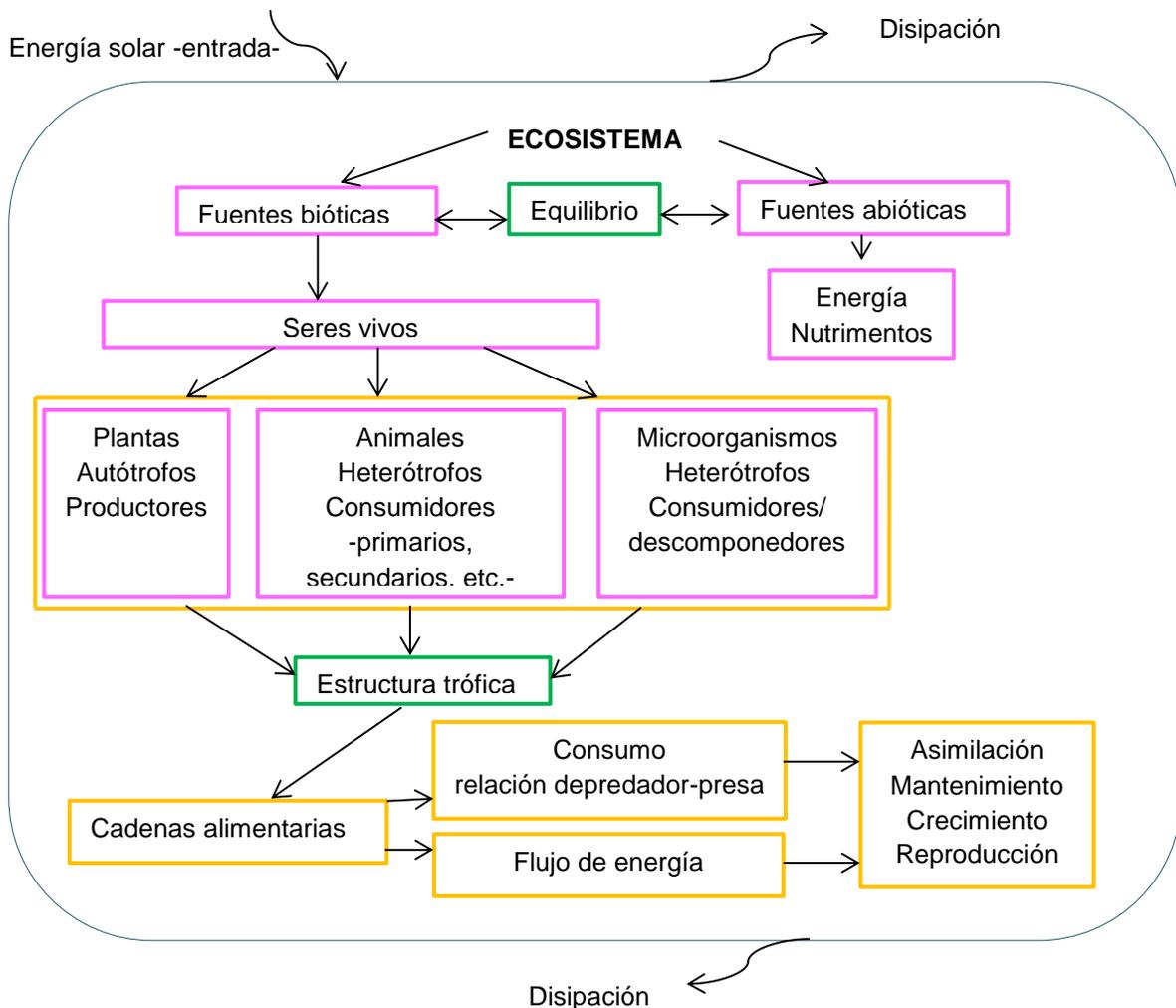
| Semana | Sesión | Fase |
|--------|--------|---|
| 1 | 1 | Exploración: modelo explicativo inicial de cadenas alimentarias |
| | 2 | Introducción de nuevos puntos de vista. Ecosistema: fuentes bióticas y fuentes abióticas. |
| | 3 | Introducción de nuevos puntos de vista. Características de las fuentes bióticas: tipo de nutrición: productores, consumidores y degradadores |
| 2 | 4 | Síntesis. Cadenas alimentarias; estructura trófica; consumo e intercambio de energía necesario para el mantenimiento, crecimiento y reproducción. |
| | 5 | Síntesis. Aplicación de las fases anteriores para construir una cadena alimentaria y explicar el flujo de energía en el ecosistema. Modelo científico escolar logrado. |
| | 6 | Generalización. Transferir las nuevas formas de ver y de explicar a situaciones complejas que permitan poner en juego el modelo explicativo logrado. Construcción de argumentos. |

Fuente: elaboración propia.

Las fases de la Secuencia Didáctica (SD) se pueden visualizar de manera resumida en la Tabla 8; la SD abarcó un periodo de dos semanas y se desarrolló en seis sesiones.

El ejercicio de diseño curricular que se realizó, se representa en la Figura 13, el cual permitió evidenciar de manera gráfica los elementos, relaciones y condiciones que se consideraron para proponer los distintos tipos de actividades que se presentan en la carta descriptiva de la secuencia didáctica.

Figura 13. Ejercicio de diseño curricular.



Fuente: elaboración propia. El color rosa hace alusión a los elementos, el amarillo a las relaciones y el verde a las condiciones.

En seguida, se presenta en la Tabla 9 la carta descriptiva del instrumento didáctico haciendo referencia a las cuatro fases de aplicación, el propósito, las actividades tanto del profesor como del alumno, los instrumentos para la recolección de datos, así como el tiempo y espacio destinado a la actividad.

Tabla 9. Carta descriptiva del instrumento didáctico.

| ACTIVIDAD DE EXPLORACIÓN INICIAL ¿Quién se alimenta de quién? | |
|---|---|
| Enunciado de la actividad En esta actividad se presenta una situación concreta, en ella se busca saber si los alumnos pueden identificar quién se alimenta de quién en las interacciones que se dan entre diferentes seres vivos. | |
| ¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo? La actividad permite conocer las explicaciones iniciales de los alumnos. | |
| ¿Qué se pretende con la actividad? Reconocer que las plantas, animales y microorganismos -hongos y bacterias- son seres vivos que necesitan nutrirse. | |
| ¿Qué hace el profesor y qué el alumno? | |
| Profesor <ul style="list-style-type: none"> • Presenta imágenes y plantea preguntas. • Guía la socialización e infiere los modelos explicativos iniciales construidos por los alumnos. | Alumno <ul style="list-style-type: none"> • Observa las imágenes, trabaja con la ficha y brinda una explicación individual sobre lo que en ella ocurre. • Socializa sus explicaciones iniciales. |
| ¿Con qué instrumentos se realiza la recolección de datos? <ul style="list-style-type: none"> • Imágenes y ficha de trabajo (Anexo 1) | Espacio, tiempo y recursos <ul style="list-style-type: none"> • Salón • 60 minutos • Imágenes y ficha de trabajo |
| ACTIVIDAD DE INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA ¿Cómo se constituye un ecosistema? | |
| Enunciado de la actividad En esta actividad se propicia que los alumnos identifiquen las fuentes bióticas y abióticas como constituyentes de los ecosistemas. | |
| ¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo? La actividad permite introducir nuevos puntos de vista referentes a los elementos necesarios para el modelo de flujo de energía. | |
| ¿Qué se pretende con la actividad? Reconocer las fuentes bióticas y abióticas como elementos del ecosistema. | |
| ¿Qué hace el profesor y qué el alumno? | |

| | |
|---|---|
| <p>Profesor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presenta la imagen de un ecosistema. • Explica la diferencia entre fuentes bióticas y abióticas. | <p>Alumno</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observa la imagen • Identifica las fuentes bióticas -seres vivos- y las diferencia de las fuentes abióticas. • Reconoce a ambas como elementos de los ecosistemas. • Registra en su cuaderno un cuadro sobre los mismos. |
| <p>¿Con qué instrumentos se realiza el seguimiento?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuadro de fuentes bióticas y abióticas | <p>Espacio, tiempo y recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salón • 60 minutos • Imagen ecosistema Libreta |
| <p>ACTIVIDAD DE INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA Productores, Consumidores y Degradadores, una diferencia significativa</p> | |
| <p>Enunciado de la actividad</p> <p>En la actividad se hacen evidentes las diferencias y semejanzas de las fuentes bióticas. Se da mayor énfasis en lo relativo al tipo de nutrición y se precisan las diferencias entre: productores, consumidores -herbívoros y carnívoros- y descomponedores.</p> | |
| <p>¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo?</p> <p>La actividad permite introducir nuevos puntos de vista referentes al tipo de nutrición de los productores, consumidores y degradadores. Elementos necesarios para el flujo de energía.</p> | |
| <p>¿Qué se pretende con la actividad?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer la construcción que los alumnos tienen sobre la fotosíntesis, ello permite consolidar el papel de los productores en las cadenas alimentarias. • Verificar si identifican la diferencia entre plantas y animales considerando la nutrición -autótrofo y heterótrofo-. • Reconocer a los productores -plantas verdes-, consumidores -animales- y descomponedores -hongos y bacterias- como fuentes bióticas que necesitan nutrirse y lo hacen de formas diferentes. | |
| <p>¿Qué hace el profesor y qué el alumno?</p> | |
| <p>Profesor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presenta organismos autótrofos y heterótrofos y pide que los organicen con relación a la fuente de sus nutrientes. • Guía la socialización de trabajos individuales. • Explica la nutrición autótrofa y la heterótrofa • Guía la construcción de un cuadro de diferencias y semejanzas. | <p>Alumno</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organiza las imágenes y escribe cómo se alimentan los dos tipos de organismos. • Socializa sus producciones. • Llega a acuerdos colectivos relacionados con las diferencias entre autótrofo y heterótrofo. • Identifica las diferencias y semejanzas de los seres vivos de la imagen, se da mayor énfasis en lo referente a la nutrición. |
| <p>¿Con qué instrumentos se realiza el seguimiento?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imágenes con diferentes organismos (Anexo 2). • Cuadro de diferencias y semejanzas | <p>Espacio, tiempo y recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salón • 60 minutos • Imágenes con diferentes organismos • Cuadro diferencias y semejanzas Libreta |

| ACTIVIDAD DE SÍNTESIS El mariposario. Un ecosistema pequeño | |
|--|---|
| Enunciado de la actividad En la sesión se centra la experiencia de las interacciones tróficas en un pequeño conjunto de plantas, animales y microorganismos en el contexto de un mariposario de aula. En ella se hace evidente la estructura trófica de las cadenas alimentarias, así como el consumo e intercambio de energía necesario para el mantenimiento, crecimiento y reproducción. | |
| ¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo? El alumno toma conciencia del Modelo Científico Escolar de Arribo | |
| ¿Qué se pretende con la actividad? <ul style="list-style-type: none"> • Que reconozcan los constituyentes de una cadena alimentaria y su nivel trófico. • Refuerzan el reconocimiento de las interacciones entre las fuentes bióticas y abióticas en el ecosistema. | |
| ¿Qué hace el profesor y qué el alumno? | |
| Profesor <ul style="list-style-type: none"> • Construye y presenta un mariposario. • Explica las cadenas alimentarias y organiza una discusión en torno a las predicciones que se pueden realizar sobre lo que ocurrirá en el mariposario. • Guía la socialización y concentra los argumentos en un rotafolio. | Alumno <ul style="list-style-type: none"> • Identifica y dibuja los elementos que interactúan en el mariposario; construye una tabla con los mismos considerando si son fuentes bióticas o abióticas. • Elabora predicciones en equipo. • Socializa sus predicciones y construye colectivamente argumentos para explicar lo que ocurre en una cadena alimentaria. |
| ¿Con qué instrumentos se realiza el seguimiento? <ul style="list-style-type: none"> • Tabla de fuentes bióticas y abióticas. • Registro de predicciones y argumentos para explicar el fenómeno. | Espacio, tiempo y recursos <ul style="list-style-type: none"> • Salón • 60 minutos • Mariposario -fuentes bióticas y abióticas- • Tabla de fuentes bióticas y abióticas. • Rotafolio • Marcadores |
| ACTIVIDAD DE SÍNTESIS ¿Quién se alimenta de quién? Reestructurando mi modelo | |
| Enunciado de la actividad En esta actividad se presenta una situación concreta, en ella se busca identificar si los alumnos han enriquecido su modelo explicativo inicial al explicitar quién se alimenta de quién en las interacciones que se dan entre diferentes seres vivos. En ella se hace evidente la estructura trófica de las cadenas alimentarias, así como el consumo e intercambio de energía necesario para el mantenimiento, crecimiento y reproducción. | |
| ¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo? La actividad permite conocer las explicaciones logradas por los alumnos quienes toman conciencia del Modelo Científico Escolar Logrado. | |
| ¿Qué se pretende con la actividad? Que reconozcan los constituyentes de una cadena alimentaria y su nivel trófico. | |
| ¿Qué hace el profesor y qué el alumno? | |
| Profesor <ul style="list-style-type: none"> • Presenta imágenes y plantea | Alumno <ul style="list-style-type: none"> • Observa las imágenes, trabaja con la ficha y |

| | |
|--|--|
| preguntas. • Guía la socialización e infiere los modelos explicativos logrados por los alumnos. | brinda una explicación individual sobre lo que en ella ocurre. • Socializa sus explicaciones. |
| ¿Con qué instrumentos se realiza el seguimiento? Imágenes y ficha de trabajo (Anexo 3) | Espacio, tiempo y recursos • Salón • 60 minutos • Imágenes y ficha de trabajo |
| ACTIVIDAD DE GENERALIZACIÓN Nos relacionamos con las cadenas alimentarias | |
| Enunciado de la actividad En la actividad se construyen cadenas tróficas y ubican a los organismos en una estructura trófica. Se plantea una situación problemática y los alumnos deben argumentar sus decisiones en términos de lo que es más sostenible ecológicamente. | |
| ¿Por qué se clasifica como una actividad de este tipo? La actividad se considera de generalización considerando que en ella los alumnos pueden aplicar los conocimientos que construyeron a una situación real. Saben utilizar el nuevo aprendizaje y reconocen su utilidad. | |
| ¿Qué se pretende con la actividad? • Que construyan cadenas tróficas. • Atribuyan un nivel trófico a cada organismo. • Reconozcan que la disminución en el número de individuos se debe a la disminución de energía disponible a lo largo de los niveles tróficos. | |
| ¿Qué hace el profesor y qué el alumno? | |
| Profesor • Presenta tablas de organismos y pide que se construyan las cadenas tróficas respectivas. • Plantea una situación problemática. • Guía la socialización de decisiones • Resume lo que se logró con toda la secuencia didáctica • Propone un momento de auto y coevaluación | Alumno • Construyen en equipos una cadena trófica, escriben el nombre de cada elemento y su función dentro de la interacción. Lo concentran en un cartel. • Argumenta colectivamente por qué ubica en cada nivel trófico a los organismos y redacta explicaciones. • Explica en equipo el modelo de flujo de energía. • Argumenta sus decisiones. • Socializa su trabajo. Se autoevalúa y coevalúa en relación al desarrollo de la secuencia didáctica. |
| ¿Con qué instrumentos se realizará el seguimiento? • Cartel elaborado por los diferentes equipos. • Ejercicio de auto y coevaluación | Espacio, tiempo y recursos • Salón • 60 minutos • Tablas de organismos • Libreta • Ejercicio Auto y coevaluación |

Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que la implementación de la secuencia didáctica tuvo dos momentos; el primero fue un pilotaje con el que se obtuvo información sobre las bondades del dispositivo, a partir de él, se evaluó la pertinencia de las diferentes actividades, así como la utilidad de los instrumentos para recabar información, los resultados de este proceso no se exponen en el siguiente capítulo ya que su única finalidad era obtener elementos para afinar la secuencia didáctica.

El segundo momento, correspondió a la implementación definitiva del instrumento pedagógico, por lo que los modelos logrados por los alumnos -resultados- se presentan, analizan y discuten en el capítulo cinco titulado resultados empíricos.

Capítulo 5. Resultados Empíricos

Trabajo de Campo. Análisis y Discusión

Introducción

La forma en que los niños y adolescentes explican los fenómenos del mundo, es diferente de la que utilizan los científicos por dos razones principalmente, la primera es que ambos construyen modelos que atienden a contextos de generación de conocimiento específicos, y la segunda es que la finalidad de construcción de tales modelos es totalmente diferente.

Actualmente se reconoce que en la escuela, no se enseñan ni aprenden los modelos científicos eruditos, sino una transformación realizada a través de un proceso de transposición didáctica que en el caso del presente documento utiliza como hipótesis directriz en Modelo Científico Escolar de Arribo, mismo que se encuentra circunscrito en la ciencia escolar y la modelización.

Los modelos científicos escolares que se construyen con los alumnos son coherentes con los modelos científicos eruditos -aunque no iguales porque su utilidad es diferente-, por lo que son funcionales ya que permiten explicar los fenómenos con los que tienen relación los alumnos, son graduales en tanto que permiten ir incorporando a sus modelos previos nuevas experiencias que les permiten robustecer y/o enriquecer dichos modelos, lo cual les permite pensar, comunicar y actuar.

El presente capítulo ofrece al lector los resultados obtenidos en la fase de implementación de la estrategia didáctica, así como su análisis y discusión por lo que se ha denominado '*Resultados Empíricos*'.

5.1 Contextualización. Categorías analíticas.

Los resultados socializados en este apartado corresponden a la segunda fase del trabajo de campo que hace referencia a la implementación definitiva de la secuencia didáctica misma que se reestructuró a partir de una fase de pilotaje previa.

La población estudiantil con la que se trabajó estuvo conformada por 33 alumnos, sin embargo, el análisis de los resultados que se presenta a continuación corresponde solamente a 25 ya que es de ellos de los que se tiene evidencia del trabajo en todos los puntos de corte considerados para realizar el análisis.

Por otro lado, es necesario aclarar que aun cuando la implementación definitiva estaba conformada por cuatro fases -exploración, introducción de nuevos puntos de vista, síntesis y generalización- el trabajo desarrollado permitió concluir con la aplicación únicamente de las tres primeras ello considerando la imposibilidad administrativa de extender las sesiones de implementación y la necesidad de abordar con los alumnos con mayor profundidad algunas actividades.

Salvo lo anterior, el trabajo se desarrolló en seis sesiones de una hora cada una; para la recolección de datos se consideraron tres instrumentos (Anexos 1, 2 y 3) mismos que permiten identificar el modelo explicativo inicial de los alumnos, el modelo científico escolar de arribo intermedio y el modelo científico escolar logrado.

Los datos obtenidos se analizaron a la luz de dos categorías de análisis, la primera se refiere al reconocimiento de los seres vivos y la función que desempeñan en el ecosistema. La segunda categoría hace alusión a los modelos y se expresa en términos de entidades, relaciones y condiciones, se analizan en tres momentos, al inicio, posterior a la fase de introducción de nuevos puntos de vista y en la fase de síntesis en dónde se evidencian los modelos logrados y el grado de correspondencia con el Modelo Científico Escolar de Arribo.

En la Tabla 10, se sintetizan el proceder analítico seguido, se da cuenta de los indicadores considerados para cada categoría de análisis, así como el instrumento con el que se obtuvieron los datos.

Tabla 10. Categorías analíticas

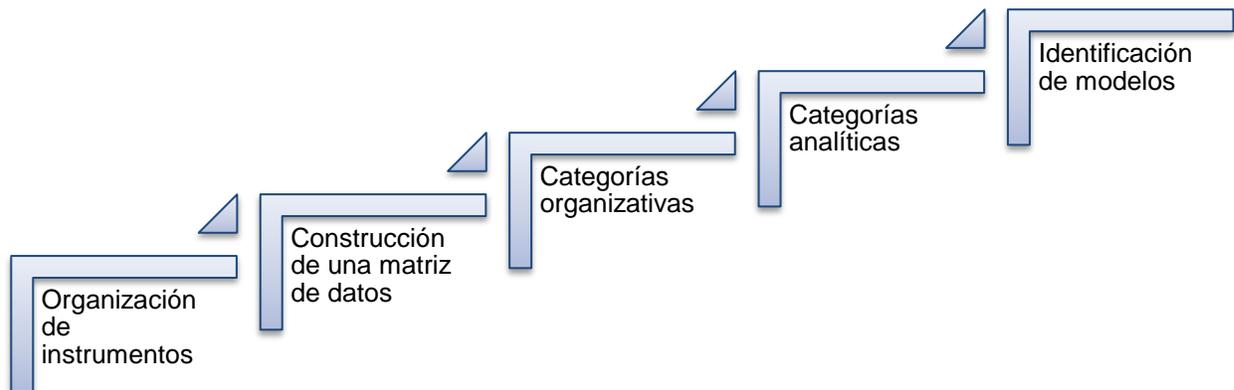
| Semana | Sesión | Tipo de actividad | Propósitos | Recolección de datos | Categorías analíticas | Indicadores |
|--------|--------|--|---|----------------------|---|---|
| 1 | 1 | Exploración | <p>1. Conocer qué saben los alumnos de las diferentes funciones de los seres vivos en el ecosistema.</p> <p>2. Construir el Modelo Explicativo Inicial -MEI-</p> | Instrumento 1 | <p>Funciones de los seres vivos</p> <p>Modelo explicativo inicial</p> | <p>1.1 Función que desempeñan en el ecosistema: productores, consumidores, descomponedores</p> <p>1.2 Entidades, relaciones y condiciones</p> |
| | 2 | Introducción de nuevos puntos de vista | 3. Identificar si los alumnos reconocen las fuentes bióticas y abióticas como elementos del ecosistema. | | | <p>2.1 Entidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Productor • Consumidor • Degradador |
| | 3 | Introducción de nuevos puntos de vista | <p>4. Conocer la construcción que los alumnos tienen sobre la fotosíntesis, (papel de los productores)</p> <p>5. Verificar si identifican la diferencia entre plantas y animales considerando la nutrición - autótrofo y heterótrofo-</p> <p>6. Reconocer a los productores, consumidores y descomponedores como fuentes bióticas que necesitan nutrirse y lo hacen de formas diferentes.</p> | Instrumento 2 | Modelo Científico Escolar de Arribo intermedio | <p>2.2 Relaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producción (fotosíntesis= autótrofo) • Consumo (heterótrofo) • Degradación (heterótrofo) <p>2.3 Condiciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel trófico • Flujo de energía |

| | | | | | | |
|---|-------|----------|---|---------------|-----------------------------------|---|
| 2 | 4 y 5 | Síntesis | <p>7. Reconocer los constituyentes de una cadena alimentaria y su nivel trófico.</p> <p>8. Fortalecer el reconocimiento de las interacciones entre las fuentes bióticas y abióticas en el ecosistema.</p> | Instrumento 3 | Modelo Científico Escolar Logrado | <p>3.1 Entidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plantas (Autótrofos, Productores) • Animales (Heterótrofos, Consumidores) • Microorganismos (Heterótrofos, Consumidores/Descomponedores) <p>3.2 Relaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadenas alimentarias (flujo de energía) • Consumo (relación depredador-presa) <p>3.3 Condiciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructura trófica (nivel trófico) |
|---|-------|----------|---|---------------|-----------------------------------|---|

Fuente: elaboración propia.

El análisis de los datos obtenidos se reporta de las producciones individuales de cada alumno, la ruta que se siguió para el tratamiento de dicha información es la siguiente:

Figura 14. Categorías organizativas



Fuente: elaboración propia.

Las categorías organizativas se determinaron de acuerdo a la similitud en las respuestas ofrecidas por los alumnos y a la frecuencia de la totalidad de los datos obtenidos, en las siguientes tablas se da cuenta de lo anterior considerando lo que se deseaba obtener a partir de cada pregunta.

5.2 Resultados: análisis y discusión

5.2.1 Funciones de los seres vivos y Modelo Explicativo Inicial

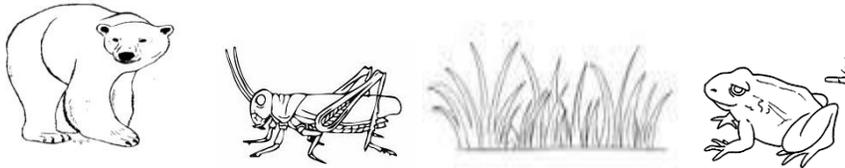
Con la información recabada a partir del instrumento 1, se perseguían dos propósitos: el primero era conocer qué saben los alumnos de las diferentes funciones de los seres vivos en el ecosistema y, el segundo era construir el Modelo Explicativo Inicial -MEI-.

A partir de lo anterior, se buscaba identificar la función que le asignaban los alumnos a los diferentes seres vivos con relación a su desempeño en el ecosistema: productores, consumidores, descomponedores.

La primera pregunta se enuncia a continuación, con ella se pretendía indagar sobre el papel que le asignan los estudiantes a las plantas en una relación trófica:

Pregunta 1

Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe por qué piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



Los datos obtenidos se explicitan en la Tabla 11, en ella se enuncian las entidades, relaciones entre las mismas y las condiciones que son consideradas por los alumnos:

Tabla 11. Datos obtenidos del instrumento 1 en la pregunta 1.

| Entidades | Relaciones | Condiciones |
|----------------|------------|--|
| Planta 14/25 | Consumo | Movimiento 3/14 Tamaño 1/14 No es un ser vivo 1/14 Visión antropomórfica 3/14 Sólo los animales se alimentan 2/14 Alimento específico (agua) 4/14 |
| Planta 3/25 | Producción | “Sirve de alimento” 3/25 |
| Oso polar 6/25 | Consumo | Posición trófica “carnívoro” 3/6 Hábitat 2/6 Sin evidencia 1/6 |
| Rana 2/25 | Consumo | Hábitat ½ Alimento específico 1/2 |

Fuente: elaboración propia. Las categorías organizativas, se dan en términos de la similitud en las respuestas y la frecuencia con que se presentan.

Los datos anteriores indican que el 56% de los alumnos (14 de 25) no reconocen a las plantas como organismos productores, les asignan el papel de consumidores en el mejor de los casos -7% no las reconocen como seres vivos (a)- . El 28% de ellos, (4 de 14) consideran que lo que “comen” es agua(b); 21% (3 de 14) señala que no se puede alimentar porque no tiene boca ni manos, lo cual da una idea de una visión antropomórfica (c); otro 21% (3 de 14) consideran que el movimiento en términos de desplazamiento es importante para “ir” a buscar el alimento por lo que la planta no puede alimentarse (d); el 7% (1 de 14) lo relaciona con el tamaño, es decir, la planta al ser más pequeña que los animales no puede alimentarse (e). Únicamente el 12% del total de los alumnos (3 de 25) las reconocen como productores.

En la Tabla 12 se da evidencia de lo señalado con ejemplos textuales de los instrumentos trabajados por los alumnos.

Tabla 12. Ejemplos de las respuestas de los alumnos para la pregunta 1. Se hace referencia a la planta.

| | |
|---|--|
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>la planta por que no es un ser re bibo</p> | <p>a) Las plantas no son reconocidas como seres vivos.</p> |
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>el pasto por que necesita agua</p> | <p>b) Lo que "comen" las plantas es agua.</p> |
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>la planta ¿por que? no puede hablar ni tiene brazos</p> | <p>c) Visión antropomórfica.</p> |
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>no se puede alimentar la planta por que no se puede mover</p> | <p>d) Movimiento propiedad necesaria para alimentarse.</p> |

| | |
|--|-----------------------------------|
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>Pasto nose puede alimenta porque los demas son grandes</p> | <p>e) Importancia del tamaño.</p> |
|--|-----------------------------------|

Fuente: elaboración propia.

Driver *et al.*, (1999) mencionan que Barker, (1985); Pascoe, (1982); Bell y Brook, (1984); Barker y Carr, (1989); Simpson y Arnold, (1982) señalan lo que se identificó en este sentido, es decir que pocos estudiantes tienen el conocimiento de que la fotosíntesis proporciona energía y material corporal a la planta, por el contrario, consideran que las plantas toman sus alimentos del suelo. En relación a su función en el ecosistema, pocos mencionan el aprovechamiento de la energía solar o la fotosíntesis como la razón por la que las plantas verdes son cruciales en la cadena alimentaria al ser productores.

Por otro lado, 8 de 25 alumnos en sus respuestas a esta pregunta (ejemplos presentados en la Tabla 13), hacen referencia a los animales, señalan elementos importantes, como la posición trófica (f) y el hábitat (g) para indicar que la rana y/o el oso polar no podrían encontrar su alimento entre los otros seres vivos presentes en las imágenes.

Tabla 13. Ejemplos de las respuestas de los alumnos para la pregunta 1. Se hace referencia a los animales.

| | |
|---|-----------------------------|
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>El oso, por que no puede alimentarse del pasto porque es carnívoro.</p> | <p>f) Posición trófica.</p> |
|---|-----------------------------|

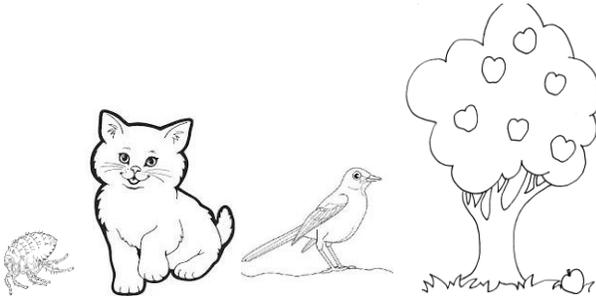
| | |
|---|--------------------|
| <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p>El oso polar porque el es de clima frio y el no vive en el clima calido</p> | <p>g) Hábitat.</p> |
|---|--------------------|

Fuente: elaboración propia.

En la segunda pregunta que se enuncia a continuación, se buscaba evidenciar a los productores y consumidores en la cadena alimentaria, así como tener elementos que permitieran comparar el modelo inferido de la literatura y el modelo explicativo inicial que los alumnos tuvieran, cabe recordar que en el capítulo 4 en la construcción de modelos como herramientas metodológicas se expuso este modelo inferido de otros trabajos de investigación y se concluyó en ese apartado que los alumnos presentan un modelo que denominamos depredador-presa en el que una condición que permite estas relaciones es el tamaño (h) y la ferocidad de todos los depredadores, quienes siempre serán más grandes, feroces y fuertes.

Pregunta 2

En el dibujo de abajo hay un pájaro, un gato, una pulga y un árbol, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así.



Lo señalado en el párrafo anterior, se puede ejemplificar con la respuesta explicitada en la Tabla 14. En ella, es evidente la relación que establecen los alumnos con relación al tamaño como una condición relevante para que funcione el modelo que han construido sobre el flujo energético.

A partir de lo anterior, se obtuvo que el 32% de los alumnos (8 de 25), no reconocen al árbol como un ser vivo del que otros se pudieran alimentar, motivo por el cual, lo dejan fuera de la cadena alimentaria, por otro lado, aquellos que si lo incluyen, le otorgan un carácter pasivo, consideran que el árbol está ahí para satisfacer el hambre del pájaro o de los humanos por ejemplo, lo cual implica que presentan un razonamiento teleológico, asumen como lo señalan Leach *et al.*, (1992); Roth y Anderson, (1985 citado en Driver *et al.*, 1999) que un evento está predeterminado para cubrir una necesidad.

Tabla 13. Ejemplos de las respuestas de los alumnos para la pregunta 1. Se hace referencia a los animales.

| | |
|--|---|
| <p>h) Tamaño condición que determina la dirección del consumo.</p> | <p>2. En el dibujo de abajo hay un pájaro, un gato, una pulga y un árbol, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así. <u>El gato al pajarito el pajarito a la pulga la pulga al árbol</u> <u>porque el gato es mas grande que el pajarito</u> <u>el pajarito es mas grande que la pulga y la pulga por</u> <u>el árbol no se muere pero se come las manzanas</u></p>  |
|--|---|

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 14 se dan a conocer los datos recabados a partir de esta pregunta se enuncian las entidades, relaciones entre las mismas y las condiciones que son consideradas por los alumnos.

Se puede evidenciar también, que el 28% del total del grupo establece una relación con el tamaño, mencionan que los animales grandes se alimentan de los pequeños.

Tabla 14. Datos obtenidos del instrumento 1 en la pregunta 2.

| Entidades | | Relaciones | Condiciones |
|------------|-------|------------|-----------------------------|
| Gato (A) | | | Sin evidencia 6/16 |
| Pájaro (A) | 16/25 | Consumo | Animales y objetos (P) 1/16 |
| Pulga (A) | | | Estructura trófica 4/16 |
| Árbol (P)* | | | Tamaño 5/16 |
| Gato (A) | | | Todos tienen que ser |
| Pájaro (A) | 4/25 | Consumo | animales 4/4 |
| Pulga (A) | | | |
| Pájaro (A) | 1/25 | Consumo | Le tiene que gustar 1/1 |
| Árbol (P) | | | |
| Gato (A) | | | Tamaño 1/3 |
| Pájaro (A) | 3/25 | Consumo | Sin evidencia 1/3 |
| | | | Estructura trófica 1/3 |
| Pájaro (A) | 1/25 | | |
| Pulga (A) | | Consumo | Tamaño 1/1 |

Fuente: elaboración propia. Las categorías organizativas, se dan en términos de la similitud en las respuestas y la frecuencia con que se presentan. A= animal, P=planta, *carácter pasivo.

En la tercera pregunta, se pretendía evidenciar si los alumnos reconocen la estructura trófica en la cadena alimentaria, considerando el nivel trófico, es decir, a los herbívoros y a los carnívoros. El planteamiento fue el siguiente:

Pregunta 3

Dibuja una flecha entre los siguientes seres vivos que indique quién se come a quién y escribe por qué piensas que es así.



Saltamonte



Rana



Planta



Zorro

Los datos que se obtuvieron se presentan en la Tabla 15 y reflejan que el 80% de los alumnos (20 de 25) sí logran reconocer como una condición del modelo a la estructura trófica misma que posibilita la existencia de las cadenas alimentarias, sin embargo, solo 13 de los 20 (65%) identifican diferentes niveles y los ubican de acuerdo al nivel trófico al que pertenecen ya sea como herbívoros o como carnívoros (i), por otro lado, el 15% (3 de los 20) además de que reconocen la estructura trófica también consideran el tamaño y la ferocidad de los consumidores, lo cual señala que en este sentido se encuentran en una fase de transición.

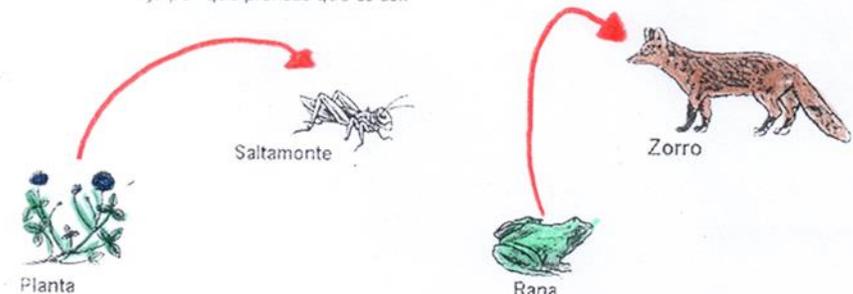
Tabla 15. Datos obtenidos del instrumento 1 en la pregunta 3.

| Entidades | Relaciones | Condiciones |
|-----------------|------------|--|
| Zorro (C) | Consumo | Estructura trófica 17/25 |
| Rana (C) | | + herbívoros y carnívoros 13/17 |
| Saltamontes (H) | | Estructura trófica + fuerte y feroz 1/25 |
| Planta (P) | | Estructura trófica + tamaño 2/25 Sabor agradable 2/25 |
| Animales | Consumo | Sin evidencia 3/25 |
| Ser vivo | | |
| Humanos | | |

Fuente: elaboración propia. Las categorías organizativas, se dan en términos de la similitud en las respuestas y la frecuencia con que se presentan. C = carnívoro, H = herbívoro; P = productor.

En la Tabla 16 se ejemplifica la estructura trófica condición determinante del flujo energético, en ella se hace alusión al nivel de los consumidores secundarios también denominados carnívoros.

Tabla 16. Ejemplos de las respuestas de los alumnos para la pregunta 1. Se hace referencia a los animales.

| | |
|-------------------------------|---|
| <p>i) Estructura trófica.</p> | <p>3. Dibuja una flecha entre los siguientes seres vivos que indique quién se come a quién y escribe al reverso de la hoja por qué piensas que es así.</p>  <p>Planta Saltamonte Rana Zorro</p> <p>Porque el saltamonte se come a las hojas y como la planta tiene hojas se la puede comer. El zorro se puede comer a la rana porque es carnívoro y se la puede comer.</p> |
|-------------------------------|---|

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, con las preguntas 4 y 5 que se citan en el párrafo siguiente, se buscó saber si los alumnos reconocían la presencia y función de los descomponedores; esto representa una dificultad mayor considerando que algunos de ellos como es el caso de las bacterias no son organismos macroscópicos, sin embargo, su reconocimiento es importante en el flujo energético del ecosistema.

| |
|--|
| <p>Pregunta 4</p> <p>Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra?</p> <p>Pregunta 5</p> <p>Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto.</p> |
|--|

En virtud de lo anterior, en la Tabla 17 se muestran los datos obtenidos y se puede concluir que el 16% de los alumnos (4 de 25) considera que los organismos muertos no se descomponen sino que permanecen en donde están pero como han sido enterrados ya no son visibles; el 28% (7 de 25) hacen referencia a que se desintegran o se convierten en polvo pero no lo explican a partir de la función de

alguna entidad (j), es decir, reconocen un cambio en la materia pero no lo atribuyen a la acción de ningún ser vivo en particular.

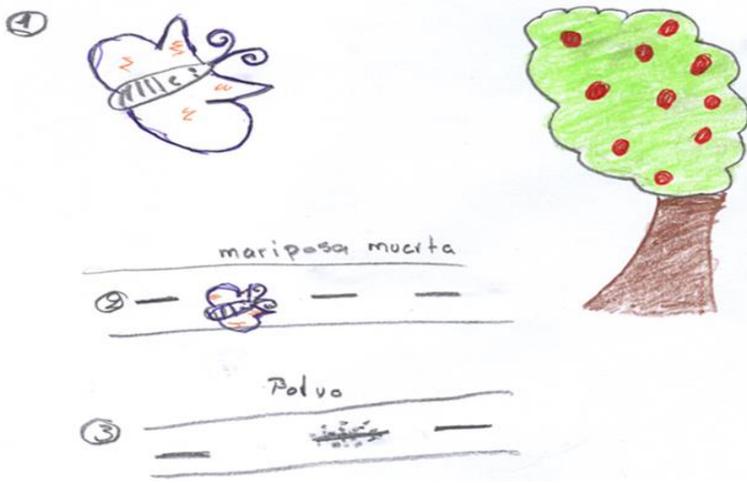
Tabla 17. Datos obtenidos del instrumento 1 en las preguntas 4 y 5.

| Entidades | | Relaciones | Condiciones |
|---|------|--|---------------------------|
| s.v. muerto microorganismos | 1/25 | Limpieza | |
| s.v. muerto gusanos | 4/25 | Descomposición Consumo Separación | Enterrado |
| s.v. muerto animal carroñero | 3/25 | Consumo | Vivo- muerto |
| (sin mencionar elementos involucrados) | 7/25 | Descomposición Desintegración "polvo" | |
| s.v. muertos | 4/25 | | Permanecen en donde están |
| s.v. muertos plantas nutrientes | 1/25 | Consumo/descomposición | |
| Sin evidencia | 5/25 | | |

Fuente: elaboración propia. Las categorías organizativas, se dan en términos de la similitud en las respuestas y la frecuencia con que se presentan. s.v. = ser vivo.

Por otro lado, el 20% (5 de 25) reconocen a los gusanos y a los microorganismos como responsables del consumo, descomposición y separación de los seres vivos muertos pero imponen como condición que sean enterrados porque es ahí en donde se encuentran dichos organismos (k); 12% (3 de 25) hacen referencia a la función de los animales carroñeros; otro 20% (5 de 25) no da evidencia que pueda ser interpretada y; solamente un alumno que representa el 4% brinda elementos que dan idea del flujo energético, ya que menciona que los seres vivos muertos se descomponen y las plantas se alimentan de sus nutrimentos (l), sin embargo, no abunda en el proceso de descomposición, en este último caso, omite mencionar a la entidad responsable de este fenómeno, pero si hace alusión al proceso. Los resultados obtenidos en este rubro, se ejemplifican en la Tabla 18.

Tabla 18. Ejemplos de las respuestas de los alumnos para las preguntas 4 y 5. Se hace referencia a la descomposición.

| | |
|--|--|
| <p>4. Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra? <u>la descomposición al estar un ser vivo muerto y se desintegran y se hacen polvo</u></p> <hr/> <p>5. Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto. <u>Mariposa viva</u></p>  | <p>j) Desintegración sin la participación de ninguna entidad.</p> |
| <p>4. Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra? <u>Al haberlos enterrado los organismos que quedan animales que viven en la tierra y se comen los organismos.</u></p> <hr/> <p>5. Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto.</p>  | <p>k) Los gusanos u otros organismos son responsables de la descomposición. El prerequisite es que los organismos muertos sean enterrados porque ahí habitan los descomponedores</p> |

| | |
|--|--|
| <p>4. Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra?</p> <p><u>el agua, tierra y plantas</u></p> <hr/> <hr/> <p>5. Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto.</p>  <p>Aplicación definitiva del instrumento didáctico. 4ºA</p> | <p>l) Idea inicial del flujo energético en este nivel, ya que se puede inferir que los alumnos establecen una relación entre las plantas y el uso de los nutrimentos que constituían el cuerpo de los organismos que murieron.</p> |
|--|--|

Fuente: elaboración propia

Lo anterior permite decir que, con respecto a la descomposición, en concordancia con lo que señalan Sequeira y Freitas, (1986); Smith y Anderson, (1986) y; Leach *et al.*, (1992) en el documento publicado en 1999 por Driver, los alumnos vinculan este fenómeno con la desaparición de animales muertos lo anterior indica que no tienen en cuenta las ideas sobre la conservación de la materia después de la muerte. La mayoría de los alumnos no son conscientes del papel que los microorganismos desempeñan en la naturaleza, especialmente de su papel como descomponedores y recicladores de carbono, nitrógeno, agua y minerales.

Con respecto a la segunda categoría analítica con la que se trabajó este primer instrumento (Anexo 1), se identificaron dos modelos explicativos iniciales. En el primero (Tabla 19) se reconocen solamente a los animales en las cadenas

alimentarias, la dirección del consumo está indicada por el tamaño o la ferocidad, es decir, los animales más grandes y feroces se “comen” a los más pequeños y débiles. En este modelo se reconocen a los descomponedores como animales únicamente, no se tiene en consideración la existencia de microorganismos; tampoco se incluye a los productores.

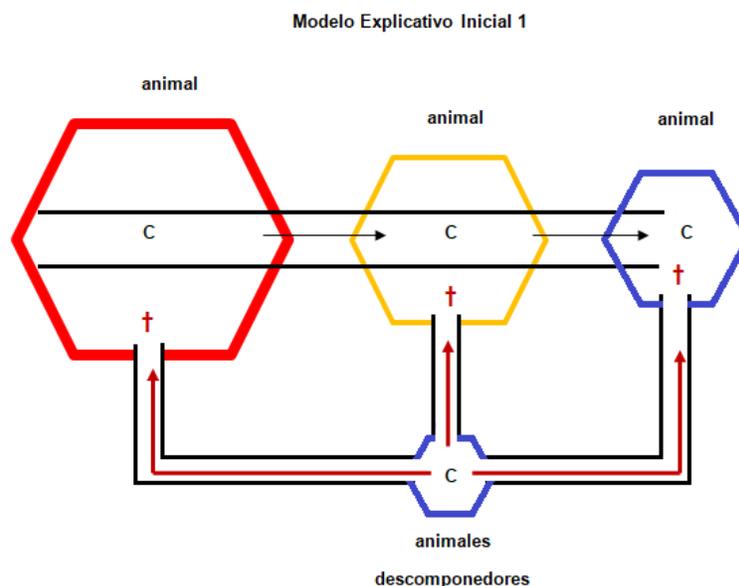
Tabla 19. Modelo Explicativo Inicial 1. Identificado a partir del análisis de las respuestas de los alumnos en el instrumento 1.

| Modelo Explicativo Inicial 1 | | |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Entidades | Relaciones | Condiciones |
| Animales | Consumo Descomposición | Tamaño Ferocidad |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 14, se expresa gráficamente el Modelo Explicativo Inicial 1 con la finalidad de facilitar al lector la visión desde la que los alumnos explican el flujo energético en los ecosistemas.

Figura 14. Modelo Explicativo Inicial 1.



Fuente: elaboración propia. Las flechas indican quién se come a quién en las cadenas alimentarias. **C**= la relación establecida es de consumo, se da del más grande y feroz al más pequeño y débil; los descomponedores son únicamente animales. La cruz indica que el proceso de

descomposición se da solo sobre animales muertos. No se reconoce señala la presencia de las plantas y por lo tanto, no se reconoce su función ecológica como productores que se ubican en la base de las cadenas alimentarias.

En el segundo modelo que se puede identificar (Tabla 20), si se reconoce a las plantas como seres vivos que participan en las cadenas alimentarias y por lo tanto en el flujo energético, sin embargo, se les asigna un papel pasivo mayoritariamente ya que señalan que sí son consumidas en las interacciones tróficas, pero no se reconoce su función como productor. En este modelo, se evidencia la importancia de la estructura trófica en las cadenas alimentarias y se reconoce también la existencia de los descomponedores como microorganismos diferentes de los animales.

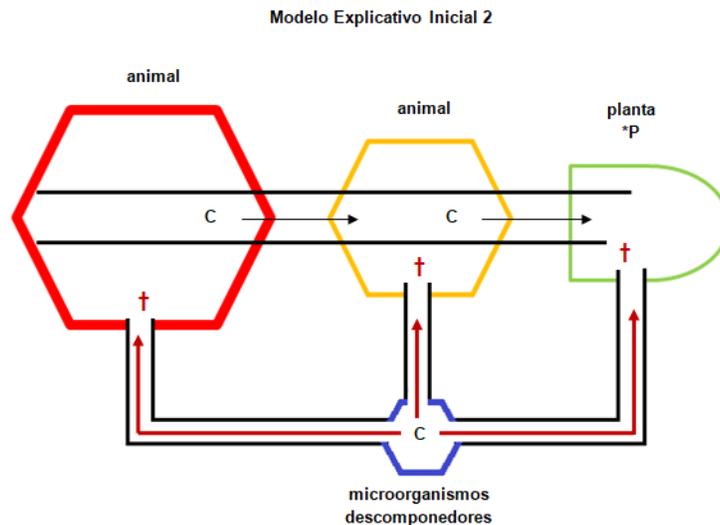
Tabla 20. Modelo Explicativo Inicial 2. Identificado a partir del análisis de las respuestas de los alumnos en el instrumento 1.

| Modelo Explicativo Inicial 2 | | |
|--|---|--------------------|
| Entidades | Relaciones | Condiciones |
| Plantas (papel pasivo o activo) Animales Microorganismos | Producción Consumo Descomposición | Estructura trófica |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 15, se expresa gráficamente el modelo anterior; es posible decir que el Modelo Explicativo Inicial 2 es más robusto, en él se incluyen entidades de los distintos niveles tróficos, por lo tanto, que cumplen funciones diferentes en el ecosistema -producción, consumo y descomposición-; se tiene en cuenta la jerarquía de las entidades y no el tamaño ni la ferocidad.

Figura 15. Modelo Explicativo Inicial 2.



Fuente: elaboración propia. Las flechas indican quién se come a quién en las cadenas alimentarias. **C**= la relación establecida es de consumo, se da considerando la estructura trófica, sin embargo, no se reconoce la función ecológica –producción ***P**- de las plantas, por lo que se les asigna un carácter pasivo. Se identifica a los microorganismos como descomponedores. La cruz indica que el proceso de descomposición se da solo sobre animales y plantas muertos.

Es necesario señalar que la categoría “*funciones de los seres vivos*” se encuentra delimitada por las propiedades de lo vivo. De acuerdo a Audesirk y colaboradores (2008, p. 10), los seres vivos tienen las siguientes características:

- ❖ Están compuestos de células que tienen una estructura compleja y organizada.
- ❖ Responden a los estímulos de su ambiente.
- ❖ Mantienen activamente su compleja estructura y su ambiente interno -homeostasis-.
- ❖ Obtienen y usan materiales y energía de su ambiente, y los convierten en diferentes formas -metabolismo-.
- ❖ Crecen.
- ❖ Se reproducen utilizando un patrón molecular de ADN.
- ❖ Tienen la capacidad de evolucionar.

Otros autores (Solomon *et al.*, 1998) agregan a las características anteriores el movimiento, no en términos macroscópicos, sino más bien a nivel celular.

A partir de lo anterior, para efectos del análisis de los datos a la luz de esta categoría, solamente se retoman dos características, la referente al movimiento y al metabolismo considerando que los datos obtenidos hacen alusión a ellas. En este sentido, se definen de la siguiente forma:

- El metabolismo incluye todos los procesos químicos y transformaciones de la energía esenciales para la nutrición, el crecimiento, la reparación, la reproducción y la conversión de energía en formas útiles. La capacidad de un organismo para mantener su ambiente interno en un estado bastante estable frente a los estímulos externos se denomina homeostasis (McFarland *et al.*, 2017).
- El movimiento sin que implique únicamente locomoción. La materia viva en el interior de la célula está en movimiento continuo, y los organismos se mueven al interactuar con el ambiente.

A partir de lo anterior, en el Modelo Explicativo Inicial, es posible decir que más de la tercera parte del grupo de aplicación (36%) no reconocen a las plantas como seres vivos, ya que asocian el movimiento con una cualidad macroscópica que se evidencia con el desplazamiento y la planta al no poseer esta cualidad no entra en la categoría de ser vivo, en la que por el contrario, si se reconoce a los animales.

Por otro lado, cabe resaltar que en el modelo que los alumnos tienen sobre ser vivo, se hace evidente la presencia de características antropomórficas y al no reconocer en las plantas manos, pies ni boca, expresan que es imposible que se alimenten porque no poseen dichas estructuras morfológicas, lo cual implica, que se desconozca al metabolismo en donde a partir de los procesos de anabolismo y catabolismo es posible explicar la fotosíntesis como un fenómeno que permite la nutrición autótrofa.

Los dos Modelos Explicativos Iniciales coinciden con los resultados teóricos expuestos en el capítulo 4, ya que: a) no se reconoce el papel de la fotosíntesis como base fundamental de las cadenas alimentarias; b) existe una visión

teleológica sobre la existencia de algunos seres vivos; c) las interacciones tróficas están dadas por el tamaño y la ferocidad de los consumidores; y d) la descomposición de la materia orgánica se atribuye a factores abióticos o bien a intervención de otros animales, la presencia de los microorganismos se encuentra desdibujada.

Algunas respuestas textuales de los alumnos que permiten ejemplificar lo anterior son las siguientes:

- *“La planta no se alimentan porque nada más se queda ahí, son solo hojas, no puede comer animales”.*
- *“El gato se come al pájaro porque eso es su alimentación, el pájaro se come a la pulga porque también es su alimentación y nosotros los humanos agarramos sus frutos del árbol”*
- *“El gato se come al pájaro, el pájaro a la pulga ,la pulga al árbol porque son animales chiquitos y grandotes”*
- *“La descomposición hace que al estar un ser vivo muerto se desintegre y se hace polvo”*

En el Anexo 4 se presenta un ejemplo del instrumento 1 resuelto por un alumno.

5.2.2 Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio

Con la información recabada a partir del instrumento 2 (Anexo 2) que se aplicó en la fase de introducción de nuevos puntos de vista, se perseguían cuatro propósitos:

1. Identificar si los alumnos reconocen las fuentes bióticas y abióticas como elementos del ecosistema.
2. Conocer la construcción que los alumnos tienen sobre la fotosíntesis, (papel de los productores)
3. Verificar si identifican la diferencia entre plantas y animales considerando la nutrición -autótrofo y heterótrofo-

4. Reconocer a los productores, consumidores y descomponedores como fuentes bióticas que necesitan nutrirse y lo hacen de formas diferentes.

A la luz de estos propósitos, se realizó un corte intermedio en las categorías de análisis y se obtuvo el Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio; se consideraron tres indicadores: las entidades -productor, consumidor, degradador-; las relaciones establecidas -producción (fotosíntesis= autótrofo), consumo (heterótrofo), degradación (heterótrofo)- y, las condiciones del modelo -nivel trófico, flujo de energía-.

Los esquemas resultantes construidos por los alumnos permiten decir que el 100% de ellos reconocen a las plantas como seres vivos ya que las incluyen en el flujo de energía en los ecosistemas lo cual señala un avance en la consolidación de este concepto con relación al corte anterior en el que más de la tercera parte del grupo (36%) no las reconocía como seres vivos. Sin embargo, solo el 62% reconoce su función el flujo energético al denominarlo productor, el 24% se encuentra en una fase intermedia porque lo reconocen como productor, pero también como herbívoro (m) y, el 14% no reconoce su función en las relaciones tróficas de un ecosistema.

En la Tabla 21 se ejemplifican las producciones elaboradas por los alumnos. La información contenida en el párrafo anterior, permite decir que se avanzó en reconocer a las plantas como seres vivos considerando que metabólicamente son capaces de realizar fotosíntesis lo que posibilita su existencia como seres vivos autótrofos.

Tabla 21. Esquemas elaborados por los alumnos como respuesta al instrumento 2.

| | |
|--|--|
| | <p>m) Reconocimiento de la planta como productor pero también como herbívoro, Fase intermedia o de transición.</p> |
| | <p>n) Ubicación de los diferentes seres vivos acorde con el nivel trófico en que se sitúan ecológicamente</p> |

Fuente: elaboración propia.

Con relación a la entidad de consumidor, el 96% (24 de 25) identifican a los animales -oruga y pájaro- y hongos en esta clasificación, lo cual desde el punto de vista metabólico es adecuado ya que estos seres vivos no son capaces de producir su propio alimento, por lo que son considerados heterótrofos. Con respecto al nivel trófico, el 71% (17 de 24) identifica a las orugas como consumidores herbívoros y el 79% ubica al pájaro como un consumidor secundario o carnívoro (n).

En lo que respecta a la tercera entidad denominada degradador, el 92% de los alumnos, reconoció al hongo con esta función en el ecosistema por lo que lo ubicaron en este nivel trófico, sin embargo, el 22% se encuentran en una fase de transición ya que también lo señalaron como herbívoro o carnívoro. Es de resaltar que ningún alumno incluyó elementos abióticos como las entidades responsables de la degradación, lo cual da idea de que avanzaron en la conceptualización y diferenciación entre biótico y abiótico.

Finalmente, con relación a la dirección del flujo energético, el 80% de los alumnos (20 de 25) establecen una relación unidireccional, el 20% restante no lograron consolidar esta condición del modelo, de ellos, el 12% (3 de 25) señaló una dirección mixta, el 4% una relación bidireccional y el 4% restante no indicó el sentido del flujo de energía.

Los resultados evidenciados en este modelo se deben tomar con cierta reserva considerando el diseño del instrumento el cual podría haber interferido en las respuestas de los alumnos.

En la Tabla 22 se sintetiza en Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio, en él, se reconocen a las tres entidades participantes como seres vivos situación que no se había identificado en los Modelos Explicativos Iniciales 1 y 2, aunado a ello, se empieza a reconocer la función de las plantas como productores. Se reconoce que el flujo energético en las cadenas alimentarias tiene una estructura conformada por niveles tróficos y que las relaciones de producción y consumo

tienen dirección, sin embargo, aún no se consolida la idea de que este flujo energético es unidireccional.

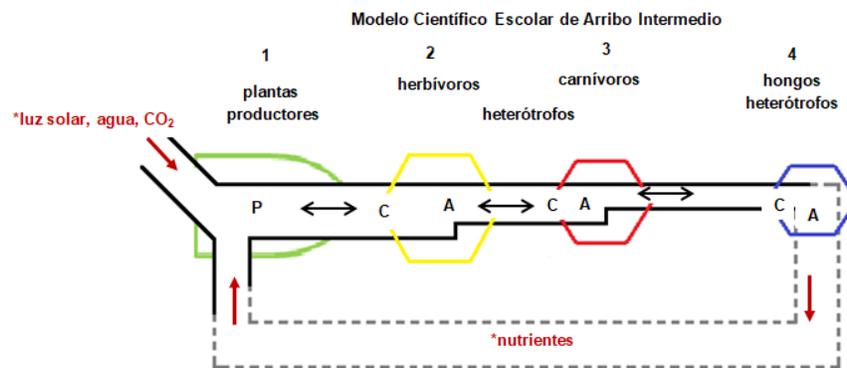
Tabla 22. Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio. Identificado a partir del análisis de las respuestas de los alumnos en el instrumento 2.

| Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio | | |
|--|---|---|
| Entidades | Relaciones | Condiciones |
| <ul style="list-style-type: none"> • Plantas (seres vivos/ productor/autótrofo) • Animales herbívoros y carnívoros (consumidor/ heterótrofo) • Hongos (consumidor/ heterótrofo/ descomponedor) | Producción Consumo Descomposición | Flujo energético (dirección) Estructura trófica. Niveles tróficos. |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 16, se expresa gráficamente el Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio.

Figura 16. Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio.



Fuente: elaboración propia. Las flechas indican el flujo energético en las cadenas alimentarias. **C=** la relación establecida es de consumo, se da considerando la estructura trófica, se reconoce la función ecológica de las plantas -productores **P**-. Se señala la importancia de los diferentes niveles tróficos en las cadenas alimentarias (**1, 2, 3 y 4**), se identifica a los heterótrofos como herbívoros, carnívoros o descomponedores -hongos-. Las líneas punteadas indican que se vuelven disponibles los nutrientes nuevamente para las plantas.

En el Anexo 5 se presenta un ejemplo del instrumento 2 resuelto por un alumno.

5.2.3 Modelo Científico Escolar Logrado

Con la información recabada a partir del instrumento 3 (Anexo 3), que se aplicó en la fase de síntesis, se perseguían dos propósitos:

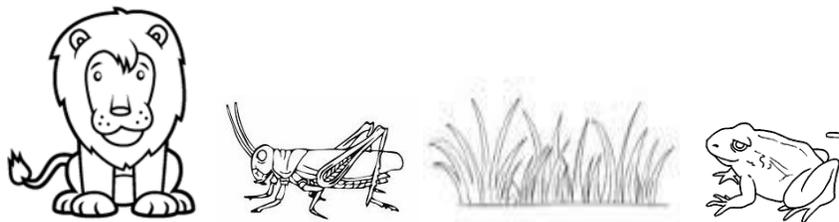
1. Reconocer los constituyentes de una cadena alimentaria y su nivel trófico.
2. Fortalecer el reconocimiento de las interacciones entre las fuentes bióticas y abióticas en el ecosistema.

Con la finalidad de verificar el logro de los propósitos, se realizó un corte final en las categorías de análisis y se obtuvo el Modelo Científico Escolar Logrado; para ello se consideraron tres indicadores: 1) las entidades: *plantas* –productor, autótrofo-, *animales* -consumidor, heterótrofo- y; *microorganismos* –consumidor, heterótrofo, degradador-; 2) las relaciones establecidas: cadenas alimentarias – flujo de energía-, consumo -relación depredador/presa- y; c) las condiciones del modelo: estructura trófica -nivel trófico-.

La primera pregunta se enuncia a continuación, y con ella se buscaba identificar en primer lugar si los alumnos ya reconocían a la planta como un ser vivo, si la lograban ubicar dentro de los autótrofos o productores. Por otro lado, si reconocían al león como el ser vivo consumidor que se encuentra en el nivel trófico de los carnívoros el cual por el alto consumo de energía que invierte al cazar a sus presas -heterótrofo- ninguno de los otros seres vivos podría ser su alimento considerando que el coste energético sería mayor que el beneficio.

Pregunta 1

Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



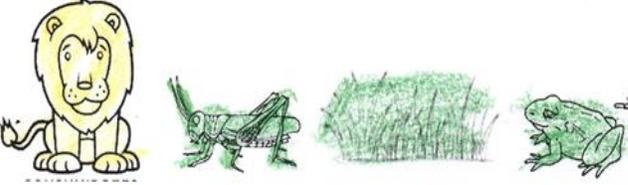
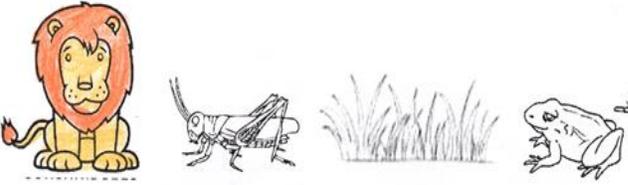
Los resultados obtenidos indican que el 40% de los estudiantes ya reconocen a las plantas como seres vivos, sin embargo, el modelo que tienen sobre el tipo de nutrición es predominantemente heterótrofo. Este problema de aprendizaje fue identificado también por Martínez (2013), la forma en que el autor hace frente a esta problemática es desde un diseño curricular similar al empleado en este documento. Los resultados obtenidos en esa investigación con respecto a los modelos logrados por los alumnos le permiten concluir a Martínez (2013) que, usando este enfoque de enseñanza, los estudiantes transitan de un modelo “heterótrofo terrestre” en el que las plantas se alimentan de lo que son capaces de absorber o “comer” a través de sus raíces, a un modelo “autótrofo”, es decir, que son capaces de producir su propio alimento haciendo uso del agua, el dióxido de carbono y la energía solar.

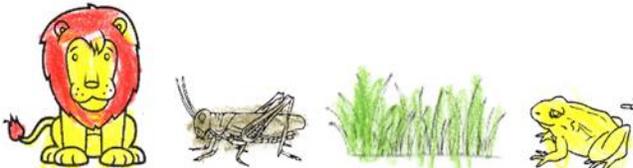
Considerando que este mismo problema se hace evidente en la información recabada a partir de los instrumentos diseñados, es necesario trabajar previamente con los alumnos el modelo de la nutrición vegetal debido a que ecológicamente se ubican en la base de las cadenas alimentarias, para que una vez consolidado este modelo, no interfiera en la reconstrucción del modelo del flujo energético.

En la Tabla 23 se ejemplifican algunas respuestas de los alumnos; persiste la idea de que es necesario el movimiento (o) en términos de desplazamiento para que puedan encontrar su alimento, ello da cuenta de que no reconocen su capacidad metabólica para fotosintetizar y producir su propio alimento. Únicamente, el 8% de los estudiantes las identifica con una nutrición de tipo autótrofa, es decir, las señala como productores. Otro 8% les asigna un papel pasivo y las reconoce como susceptibles de ser consumidas pero no hacen alusión a la importancia de su función en el ecosistema (p). Lo relevante en este sentido, es que los alumnos ha avanzado en la reconstrucción del modelo de productor que tienen, es decir, todavía no logran identificarlo con esta función, pero han abandonado sus concepciones iniciales de tipo antropomórfica, ninguno de ellos señala como requisito la existencia de boca y manos para que la planta se pueda alimentar,

tampoco hacen alusión a la relación con el tamaño como lo hicieron en el modelo explicativo inicial.

Tabla 23. Respuestas de los alumnos a la pregunta 1 del instrumento 3.

| | |
|---|--|
| <p>o) Persiste la idea de que es necesario el movimiento</p> | <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p><u>el pasto por que es pasto y no se puede mover.</u></p> |
| <p>p) Se asigna un papel pasivo a las plantas en el flujo energético.</p> | <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p><u>La hierba porque ella sirve como alimento</u></p> |
| <p>q) Se elige la entidad adecuada, sin embargo no se brindan argumentos sobre la elección.</p> | <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p><u>El Leon porque no se puede comer ninguno de esos 3</u></p> |

| | |
|--|--|
| <p>r) Se elige la entidad adecuada y el argumento hace alusión al nivel trófico.</p> | <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p><u>el leon porque no es una planta</u> <u>+ es carnívoro y no come insectos</u></p> |
| <p>s) Las relaciones de consumo están determinadas por la voluntad de los seres vivos.</p> | <p>1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.</p>  <p><u>El grillo porque no puede encontrar</u> <u>algo que comer ni ay nada de su</u> <u>agrado</u></p> |

Fuente: elaboración propia.

El 56% de los alumnos identifican de modo adecuado al león como el ser vivo que no puede producir ni consumir a ninguno de los otros seres vivos presentes, de ellos, el 50% no da argumentos del porqué (q) y el 50% restante, usa al nivel trófico en el que se ubica como argumento (r), es decir que mencionan que al ser un gran carnívoro ninguno de los otros seres vivos le aportaría los recursos energéticos que necesita. Es importante señalar que en la fase inicial solo el 32% de los alumnos reconocían el nivel trófico como una condición necesaria para el flujo energético, en la fase final este porcentaje se incrementó en un 18%.

Finalmente, un alumno que representa al 8% señala al saltamontes como el ser vivo que no se puede alimentar ni producir su alimento, el argumento que da es de tipo volitivo, señala que decide no consumir nada de lo presente porque no le agrada (s).

En la segunda pregunta que se enuncia a continuación, se buscaba evidenciar la evolución del Modelo Explicativo Inicial, por un lado, en lo relativo a las entidades, se pretendía identificar si es que reconocen a las plantas como seres vivos autótrofos que al realizar el proceso de la fotosíntesis elaboran sus propios nutrimentos, así como a los consumidores, que sin importar el tamaño y/o la ferocidad, pertenecen a una estructura trófica y por lo tanto, se ubican en un nivel trófico específico, lo que posibilita el flujo energético en las cadenas alimentarias al establecerse una relación de consumo, denominada depredador-presa.

Pregunta 2

En el dibujo de abajo hay un humano, una vaca, pasto y un piojo⁶, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así.



A partir de lo anterior, se obtuvo un avance significativo en las condiciones que los alumnos consideran esenciales en el modelo, es decir, que en la fase de exploración los resultados evidenciaban que el 28% de los estudiantes consideraban que el tamaño y la ferocidad eran determinantes de la dirección del consumo en una cadena alimentaria, en esta tercera fase denominada de síntesis, se puede observar que en solo el 4% de los alumnos persiste esta idea; de acuerdo a las respuestas obtenidas, el 92% señala que el tamaño no es una propiedad determinante y el 4% restante no da una respuesta que sea inteligible.

⁶ **Nota aclaratoria:** respecto a la imagen del piojo utilizada en la pregunta 2 del instrumento 3, es preciso señalar que se empleó la misma imagen en la pregunta 2 del instrumento 1, sin embargo, en la redacción de dicho instrumento se dijo que se trataba de una pulga. Es pertinente indicar que el piojo y la pulga pertenecen a dos órdenes taxonómicos diferentes *Phthiraptera* para el primero y *Siphonaptera* para el segundo, sin embargo, ambos son parásitos que se nutren de la sangre de sus huéspedes, considerando este hecho se utilizó la misma imagen con fines didácticos. Con la intención de evitar que esta situación interfiriera con los resultados ambos instrumentos se trabajaron en semanas diferentes.

Aunado a lo anterior, el 44% de los alumnos dan una respuesta correcta a la pregunta, sin embargo, no brindan argumentos que permitan identificar las entidades, relaciones y condiciones que poseen o incorporaron después de la implementación de la secuencia didáctica.

El 32% brindan respuestas correctas (ejemplo en la Tabla 24) y las argumentan utilizando el nivel trófico como algo esencial (t), hacen referencia a los herbívoros, los carnívoros y cómo es que esa característica posibilita el flujo energético en las cadenas alimentarias. Otra parte del grupo de trabajo, utiliza la misma clase de argumentos, sin embargo, ubica en un nivel trófico equivocado a alguna de las entidades, lo cual permitiría decir que se encuentran en proceso de reconceptualización.

Tabla 24. Respuestas de los alumnos a la pregunta 2 del instrumento 3.

| | |
|--|--|
| <p>t) Respuestas correctas, se argumenta a partir de la condición del nivel trófico.</p> | <p>2. En el dibujo de abajo hay un humano, una vaca, pasto y un piojo, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así. <u>El humano a la vaca</u> <u>la vaca al pasto el piojo al hombre.</u> <u>porque la vaca da leche y carne el piojo la sangre y el pasto produce su alimento</u></p>  |
| | <p>2. En el dibujo de abajo hay un humano, una vaca, pasto y un piojo, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así. <u>la vaca se come al pasto,</u> <u>el piojo a la vaca y el humano a la vaca</u> <u>porque la vaca es herbívora el piojo es cupasandre y la señora es carnívora</u></p>  |

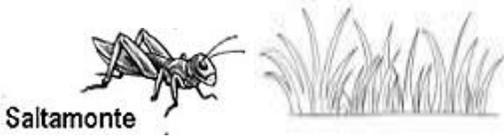
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el 8% deja fuera de la cadena a alguna o algunas de las entidades; el 4% identifica al sabor del posible alimento como una condición importante para que se realice su consumo; finalmente, en el 4% restante, persiste la idea inferida de la literatura e identificada en el Modelo Explicativo Inicial en el que se señala el tamaño y la ferocidad como una condición que posibilita el funcionamiento del modelo.

En la tercera pregunta, se pretendía evidenciar si los alumnos reconocen la existencia de la energía y su flujo en las interacciones tróficas entre los seres vivos. Como se había explicado anteriormente, este es un concepto muy complejo ya que requiere de un nivel de abstracción muy elevado, el fenómeno desde la percepción es evidente, es decir, un ser vivo se alimenta de otro, sin embargo, en términos ecológicos, lo que ocurre es que se posibilita el flujo de la energía en el ecosistema. Es decir, que un ser vivo se alimenta de otro para adquirir la energía necesaria que le permitirá metabólicamente mantenerse, crecer, reproducirse, y repararse. El planteamiento de dicha pregunta, se presenta a continuación:

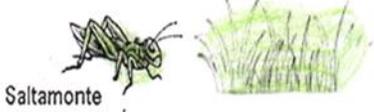
Pregunta 3

Explica qué consume un saltamontes cuando se alimenta del pasto.



Los resultados (ejemplificados en la Tabla 25) permiten concluir que el 48% de los alumnos logran comprender el la importancia de lo que representa el consumo, como lo señalan Puig, Bravo y Jiménez (2012) La construcción del modelo representa dificultades para los alumnos debido a que la energía es una noción abstracta, sin embargo, los alumnos señalan que lo que consume el saltamontes cuando se alimenta del pasto es energía que se traspa de un ser vivo a otro en una cadena alimentaria (u).

Tabla 25. Respuestas de los alumnos a la pregunta 3 del instrumento 3.

| | |
|--|--|
| <p>3. Explica qué consume un saltamontes cuando se alimenta del pasto</p> <p>#</p>  <p>energía que se traspassa</p> | <p>u) Se hace alusión al flujo energético que va del productor al consumidor primario.</p> |
| <p>3. Explica qué consume un saltamontes cuando se alimenta del pasto</p>  <p>Productor</p> | <p>v) Se reconoce la función ecológica del pasto como productor.</p> |

Fuente: elaboración propia.

El 20% de los estudiantes, da cuenta de la función en el ecosistema del pasto, porque mencionan que el saltamontes consume a un productor (v), el uso en el lenguaje de este tipo de conceptos es muy deseable porque evidencia que se van nominando a los seres vivos de acuerdo a su función en la estructura trófica.

El 28% no da argumentos ecológicos del consumo, ya que las respuestas se refieren a que consume su alimento para no morir o bien para nutrirse, con respuestas de este tipo, se podría pensar que hay concluye el flujo energético aunque esta afirmación se debe considerar con reservas debido a que el diseño del instrumento para la recolección de la información pudiera tener debilidades que son susceptibles de ser resueltas con el enriquecimiento metodológico de esta propuesta de intervención.

Finalmente, un alumno que representa al 4% dio una respuesta descontextualizada ya que señaló que consume hongos y bacterias.

Con relación a la pregunta cuatro citada en el párrafo siguiente, se buscó saber si los alumnos reconocían la importancia de los productores en las interacciones tróficas, así como los riesgos de su posible desaparición en el ecosistema.

Pregunta 4

¿Qué pasaría con los saltamontes si no existieran más productores?

En virtud de lo anterior, el 100% de los alumnos señala que ante la desaparición de un eslabón de la cadena alimentaria (Tabla 26), la existencia de los demás está en riesgo (w), en el caso específico de los saltamontes, señalan textualmente que *“se morirían porque cuando el saltamontes come pasto está comiendo energía que le ayuda a mantenerse vivo”* otros alumnos incorporan que a partir de lo anterior, que tampoco sería posible la reproducción de los saltamontes porque es necesario que posea energía para realizar esta función.

Tabla 26. Respuestas de los alumnos a la pregunta 4 del instrumento 3.

| | |
|--|--|
| w) Se evidencia la importancia de la estructura trófica, si un eslabón desaparece de la cadena | <p>4. ¿Qué pasaría con los saltamontes si no existieran más productores?</p> <p><i>no viviría por que no tiene nada que consumir</i></p> |
| alimentaria, la existencia de los demás se ve comprometida. | <p>4. ¿Qué pasaría con los saltamontes si no existieran más productores?</p> <p><i>no tendría energía y se moriría</i></p> |

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 27 se sintetiza en Modelo Científico Escolar Logrado, en él, se reconocen a las tres entidades participantes como seres vivos, sin embargo, en el

caso de la nutrición en las plantas verdes, se considera que es de tipo heterótrofa, igual que en los animales y los microorganismos.

Se identifican las diferentes relaciones que se establecen entre especies de diferentes niveles tróficos, es decir, producción, consumo y descomposición. Se señala que esto posibilita el flujo energético en las cadenas alimentarias.

Se reconoce al movimiento en términos de desplazamiento como una condición necesaria para la nutrición, lo cual no es correcto para todos los niveles tróficos.

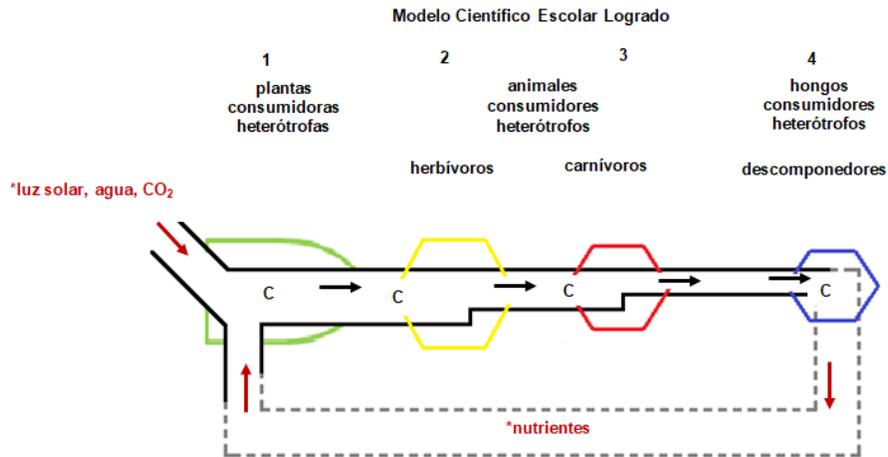
Tabla 27. Modelo Científico Escolar Logrado. Identificado a partir del análisis de las respuestas de los alumnos en el instrumento 3.

| Modelo Científico Escolar Logrado | | |
|--|---|---|
| Entidades | Relaciones | Condiciones |
| <ul style="list-style-type: none"> • Plantas (seres vivos/ heterótrofo) • Animales herbívoros y carnívoros (consumidor/ heterótrofo) • Hongos (consumidor/ heterótrofo/ descomponedor) | Producción Consumo Descomposición | Movimiento Flujo energético (dirección) Estructura trófica. Niveles tróficos. |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 17, se expresa gráficamente el Modelo Científico Escolar Logrado; cabe señalar que al compararlo con el Modelo Científico Escolar de Arribo propuesto, no es evidente la disipación de la energía que fluye entre los niveles tróficos -segunda ley de la termodinámica- no se aprecia el gasto energético que realizan los seres vivos en respiración ni en excreción. Un dato relevante es que para el modelo logrado se considera el flujo unidireccional, lo cual es correcto.

Figura 17. Modelo Científico Escolar Logrado.



Fuente: elaboración propia. Las flechas indican el flujo energético en las cadenas alimentarias. **C=** la relación establecida es de consumo, se da considerando la estructura trófica, se reconoce a la planta como un ser vivo, sin embargo, no se logró consolidar la función ecológica que cumple en el ecosistema, se le señala como un consumidor. Se señalan diferentes niveles tróficos en las cadenas alimentarias (**1, 2, 3 y 4**), se identifica a los heterótrofos como plantas, herbívoros, carnívoros y/o descomponedores. Las líneas punteadas indican que se vuelven disponibles los nutrientes nuevamente para las plantas.

En el Anexo 6 se presenta un ejemplo del instrumento 3 resuelto por un alumno.

5.3 Síntesis

Los resultados obtenidos en los diferentes momentos de corte en el análisis de los datos dan cuenta de que los Modelos Explicativos de los alumnos evolucionaron después de las actividades de enseñanza. Es oportuno recordar que con ellas se buscó que desde una visión centrada en la ciencia escolar y la modelización, las explicaciones explicitadas por los alumnos sobre las cadenas alimentarias con las que se explica el flujo energético en los ecosistemas resultaran enriquecidas.

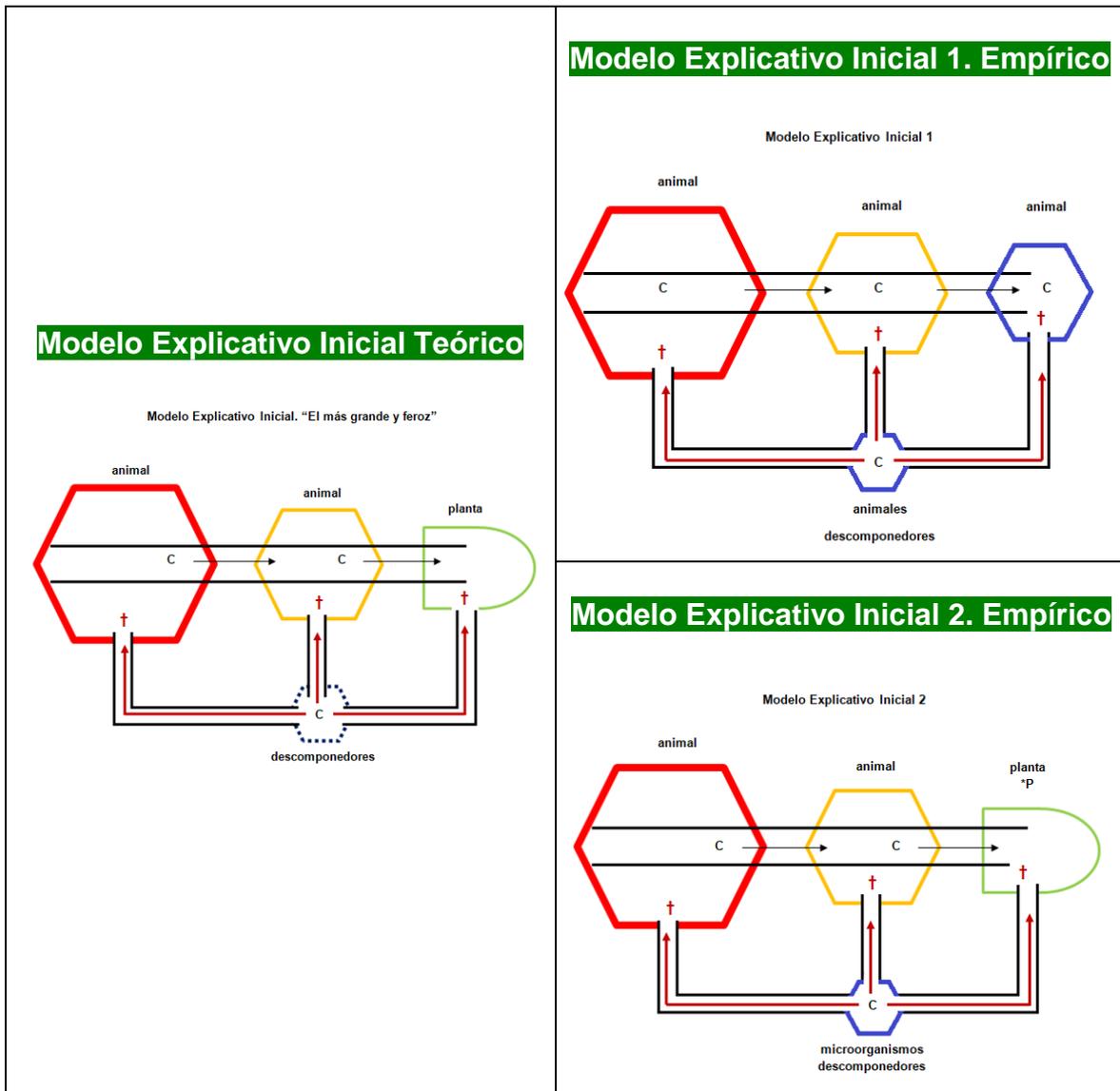
En la Tabla 28 se presenta una comparación entre el Modelo Explicativo Inicial inferido de la literatura producida en el campo de Educación en Ciencias por lo que se denominó teórico y los modelos identificados durante la implementación de

la secuencia didáctica, por lo que se nombraron empíricos, en este último caso se obtuvieron dos.

En primer lugar, es oportuno señalar que los tres podrían ubicarse en un modelo denominado “El más grande y feroz”, lo anterior considerando que los alumnos relacionan el tamaño y la ferocidad como una condición que determina la dirección del consumo intraespecífico, es decir, los más grandes, fuertes y feroces se “comen” a los más pequeños y débiles. Otro punto en el que coinciden los tres modelos, es en que se considera que los descomponedores actúan solo sobre seres vivos muertos, no se reconoce que en las excretas de los diferentes niveles tróficos también hay materia que es utilizada por los descomponedores.

Finalmente, el Modelo Explicativo Inicial 2 es el que más coincide con el modelo teórico, en ambos casos, se identifica la presencia de las plantas, sin embargo, en el obtenido con el grupo de implementación su función ecológica no está del todo reconocida, ya que si la ubican dentro de los seres vivos, pero no la señalan como un productor. En este modelo empírico, también se resalta el papel protagónico que desempeñan los descomponedores, ya que se reconoce su función ecológica en contraste con lo identificado en el modelo teórico en el que se reconoce el proceso de la descomposición pero es atribuido a factores abióticos y no a seres vivos.

Tabla 28. Comparativo entre los Modelos Explicativos Iniciales: teóricos y empíricos.



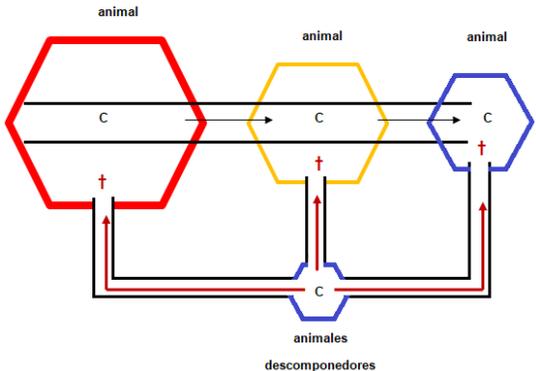
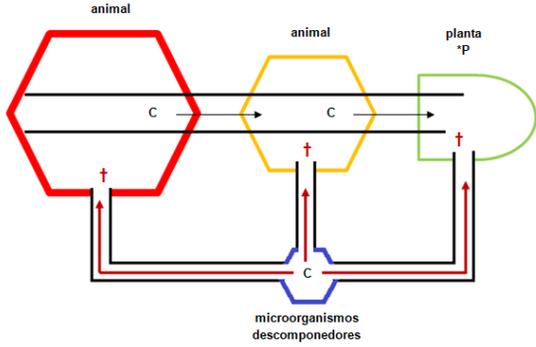
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la Tabla 29 se presenta la evolución gradual en los modelos construidos a partir de la implementación de la secuencia didáctica, es posible identificar lo siguiente:

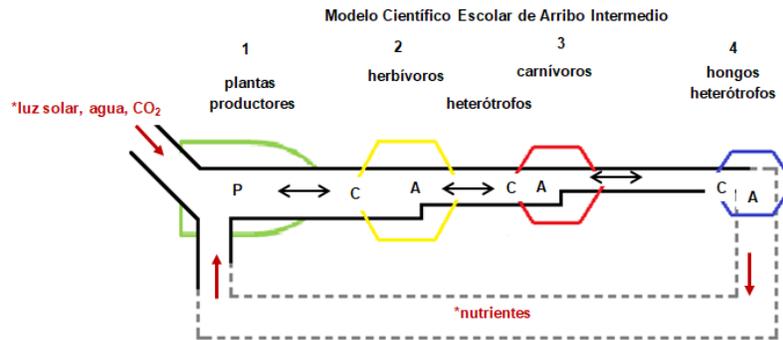
Los modelos explicativos Iniciales 1 y 2 se robustecen y se reestructuran, esto queda de manifiesto con el Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio en el cual: 1) se reconoce a las plantas como seres vivos, a la par de ello se le asigna la función ecológica de productor que al hacer uso de insumos inorgánicos es capaz

de fijar la energía solar y transformarla en materia orgánica -energía química- disponible para el siguiente nivel trófico. 2) Se reconoce a los animales y otros seres vivos diferentes de las plantas como consumidores con un tipo de nutrición heterótrofa. 3) Se identifican claramente diferentes niveles tróficos por lo menos relacionados con el consumo: herbívoros y carnívoros. 4) Se abandonó la idea de que el tamaño y la ferocidad determinan la dirección del consumo en las cadenas alimentarias. 5) Se abandonó la concepción antropomórfica relacionada con la nutrición en el caso de las plantas verdes. 6) Se reconoce a la energía como aquello que consume un ser vivo cuando se alimenta de otro, así como su importancia en relación con el mantenimiento, crecimiento y reproducción.

Tabla 29. Evaluación gradual de los modelos identificados en los alumnos.

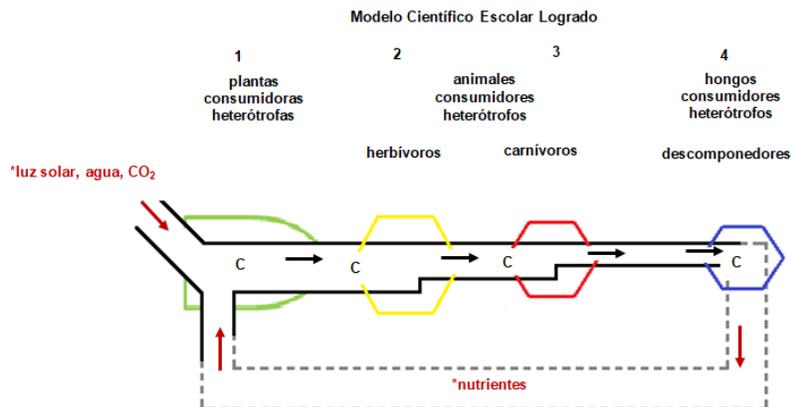
| Modelo Explicativo Inicial 1. Empírico | Modelo Explicativo Inicial 2. Empírico |
|---|--|
| <p data-bbox="444 947 613 968">Modelo Explicativo Inicial 1</p>  <ul data-bbox="240 1444 699 1612" style="list-style-type: none"> • Entidades: animales. • Relaciones: consumo y descomposición. • Condiciones: tamaño y ferocidad. | <p data-bbox="1024 957 1193 978">Modelo Explicativo Inicial 2</p>  <ul data-bbox="841 1413 1360 1675" style="list-style-type: none"> • Entidades: plantas -función pasiva -, animales y microorganismos. • Relaciones: producción (*), consumo y descomposición. • Condiciones: tamaño y ferocidad; estructura trófica. |

Modelo Científico Escolar de Arribo Intermedio



- **Entidades:** *plantas* (ser vivo, productor, /autótrofo); *animales* (herbívoro y carnívoro, consumidor/ heterótrofo) y; *hongos* (consumidor/ heterótrofo/ descomponedor).
- **Relaciones:** producción, consumo, descomposición.
- **Condiciones:** Flujo energético; estructura trófica (niveles tróficos).

Modelo Científico Escolar Logrado



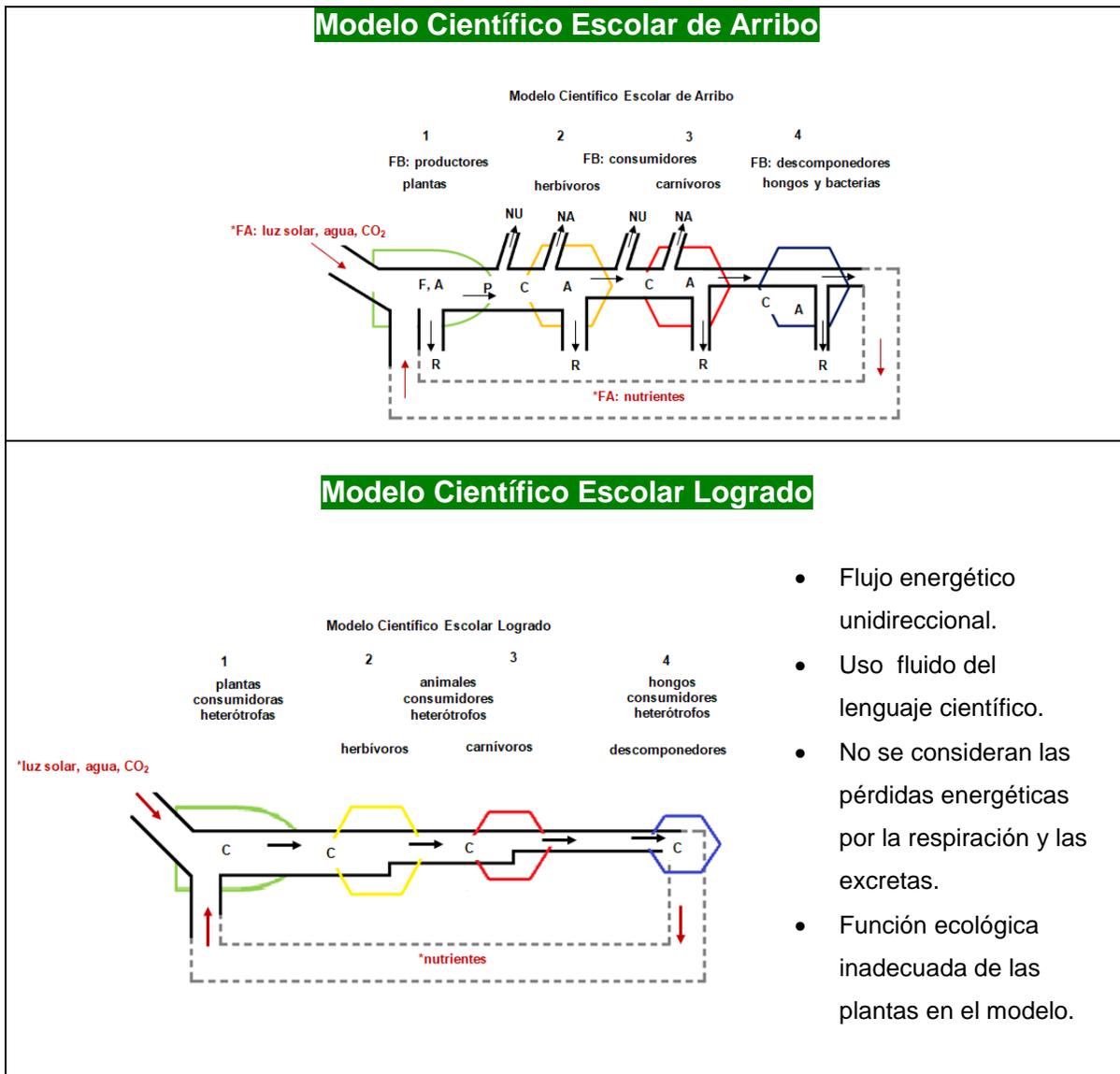
- **Entidades:** *plantas* (ser vivo, heterótrofo); *animales* (herbívoro y carnívoro, consumidor/ heterótrofo) y; *hongos* (consumidor/ heterótrofo/ descomponedor).
- **Relaciones:** producción, consumo, descomposición.
- **Condiciones:** Movimiento; flujo energético (dirección); estructura trófica (niveles tróficos).

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la Tabla 30 se presenta una comparación entre el Modelo Científico Escolar Logrado y El Modelo Científico Escolar de Arribo -hipótesis

directriz-, en ella se evidencia que los alumnos reconocen la existencia de un flujo energético unidireccional en las interacciones tróficas y avanzaron en la apropiación del lenguaje científico, hablan con mayor fluidez sobre productor, consumidor, autótrofo, heterótrofo, descomponedor, energía, flujo energético, cadenas alimentarias, nivel trófico y estructura trófica. También fue posible identificar que tienen claridad sobre las implicaciones negativas que tiene el que desaparezca un eslabón en las cadenas alimentarias.

Tabla 30. Evaluación gradual de los modelos identificados en los alumnos.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, es importante mencionar, que persisten algunos elementos, relaciones y condiciones en los modelos sobre los que es necesario profundizar, mismos que se enuncian en seguida:

1. En el tipo de nutrición autótrofa, todavía hay deficiencias en la conceptualización de la fotosíntesis como proceso metabólico a través del cual las plantas verdes sintetizan sus nutrientes.
2. Es necesario reestructurar la relación que establecen los alumnos sobre el movimiento en términos macroscópicos como una condición para que las plantas se nutran.
3. Es necesario fortalecer con los alumnos la capacidad argumentativa, ya que algunos de ellos brindan respuestas correctas a los diferentes planteamientos, sin embargo, dejan de lado los argumentos que les pudieran dar solidez a las mismas.

Conclusiones y Consideraciones finales

“Si las ciencias son el resultado de una actividad humana compleja, su enseñanza no puede serlo menos”

Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999)

Los seres humanos nacemos con un recurso muy valioso denominado “tiempo”, el problema del mismo es que es finito y degradable, a medida que transcurre se reduce y se pierde la posibilidad de ponerlo al servicio de la humanidad, vivir con la conciencia plena de que un día no muy lejano moriremos nos debe motivar permanentemente para perfeccionar todas nuestras potencialidades y compartirlas aportando valor a todos los seres vivos que nos rodean.

Esta conciencia de mortalidad latente fue el detonante para que la autora del presente documento buscara perfeccionar sus habilidades docentes con el fin de mejorar la enseñanza que brindaba a sus alumnos e impactar favorablemente en su aprendizaje, motivo por el cual decidió cursar los estudios de posgrado en la Universidad Pedagógica Nacional que concluyen con la presentación del examen de grado frente a los especialistas del área de Educación en Ciencias circunscritos a la institución mencionada.

La profesionalización docente es un compromiso ético que parte de reconocer que existen problemas en el aprendizaje de diferentes fenómenos que son susceptibles de reducirse con una reestructuración en la práctica docente. En el área de las ciencias, uno de estos problemas es el flujo energético en los ecosistemas, mismo que se evidencia en las cadenas alimentarias. Al documentar este problema de aprendizaje, se reconoció la relevancia en el tratamiento del mismo, ya que su comprensión y aprendizaje posibilita que los alumnos puedan avanzar a otros modelos más complejos y operar funcionalmente con los mismos.

Considerando los resultados obtenidos durante la intervención didáctica así como los correspondientes al análisis curricular es oportuno y necesario replantear el currículo a la luz de los aportes de la didáctica de la ciencia que van más allá de una concepción prescriptiva para el trabajo en el aula. La educación en ciencias desde esta perspectiva va más allá de una idea positivista y tradicional de enseñanza expositiva de contenidos.

Los aportes realizados por la didáctica de las ciencias en los que se encuentra circunscrito este trabajo de investigación e intervención docente poseen un enfoque integral e integrador cuyo propósito es desarrollar dispositivos didácticos para que los profesores ayuden a los alumnos en la construcción de sus saberes, y apoyar a su vez a los actores educativos encargados del diseño curricular. Solo en este sentido, los propósitos afectarán la elección de los contenidos o mejor aún de los modelos explicativos a fortalecer y robustecer con los alumnos.

La pregunta de investigación que se planteó en el capítulo 1 y que guio el proceder de la autora se cita a continuación:

¿En qué medida la secuencia didáctica diseñada desde la perspectiva de la modelización y la ciencia escolar, contribuye a que los alumnos reconozcan el papel que juegan los organismos en las cadenas alimentarias y construyan un modelo científico escolar que les permita explicar el flujo energético en los ecosistemas?

A partir de los resultados socializados en el presente documento y recabados durante la implementación de la secuencia didáctica en los instrumentos 1, 2 y 3; es posible concluir lo siguiente:

1. El enfoque teórico-metodológico con el que se buscó dar respuesta al problema de aprendizaje enunciado previamente desde el diseño curricular, ofrece bondades relacionadas con los modelos construidos por los alumnos. La modelización y la ciencia escolar, son posturas teóricas constructivistas que reconocen al conocimiento como una construcción

social, justamente esto, es lo que se buscó en las actividades implementadas con la población en estudio. Propiciar que los alumnos socialicen sus modelos y realicen ajustes graduales a los mismos a partir de la discusión y enriquecimiento de sus argumentos con los aportes del resto del grupo permite que el aprendizaje resulte más efectivo.

Hacer uso de estos referentes teóricos enriqueció sin lugar a dudas la visión sobre ciencia, aprendizaje y enseñanza de la autora, lo cual impactó en su práctica profesional.

Revisitar el fenómeno educativo permite hablar con más soltura sobre la propuesta curricular oficial para el país contenida en los Planes y programas de estudio vigentes al momento (2011 y 2017), una crítica a los mismos se relaciona con la extensión de los contenidos a abordar, mismos que son en extremo complejos y no es posible que los alumnos aprendan significativamente sobre los mismos. Un ejemplo de lo mismo se evidencia en el análisis preliminar de los materiales curriculares -plan y programas de estudio; libros de texto-, se pudo identificar que en el tratamiento de la temática existen debilidades que justifican la importancia de que sean abordados con mayor profundidad ya que el abordaje que se propone actualmente es somero y bastante complejo considerando que el nivel de abstracción que tienen que alcanzar los alumnos de tercer y cuarto grado -grados en los que se aborda con mayor profundidad el fenómeno- es muy elevado. La estructura curricular actual, plantea que para tercer grado los alumnos deben conocer la nutrición autótrofa -fotosíntesis- para poder comprender en cuarto grado las cadenas alimentarias. Estos fenómenos son sumamente complejos considerando que se llevan a cabo en un proceso macro y microscópico.

Considerando que existen diferentes categorías relacionadas con los procesos de los organismos vivos que los alumnos no han consolidado y que son prerrequisito para que reconstruyan otras nociones, por ejemplo, si

los alumnos no reconocen a las plantas como seres vivos, difícilmente consiguen incluirlas en el modelo de flujo energético en los ecosistemas porque no tiene claridad sobre su nicho en el ecosistema, ante esta situación es deseable y oportuno limitar el currículo al trabajo de menos modelos científicos escolares, uno de ellos puede y debe ser necesariamente el de *ser vivo*.

En este sentido, sería pertinente hacer un planteamiento curricular para el área de ciencias como el que propone García (2005) en torno a cuatro grandes modelos –ser vivo, célula, ecosistema y, evolución- como los elementos organizadores del currículo oficial. La idea como lo refiere la autora es que estos modelos sean pocos pero significativos.

2. En el diseño la secuencia didáctica, se tuvo en consideración que se partiría de la exploración de las ideas previas de los alumnos con el objetivo de identificar el Modelo Explicativo Inicial con el que explicaban el flujo energético en los ecosistemas, las actividades se concibieron a partir de la propuesta de Sanmartí (2002) con la intención de avanzar gradualmente de lo concreto a lo abstracto y de lo simple a lo complejo en dirección de los aportes de la ecología para explicar el flujo energético en los ecosistemas a partir de la construcción del modelo de cadena alimentaria.

En los resultados fue posible apreciar que los alumnos construyeron o reconstruyeron algunos constituyentes del modelo de cadena alimentaria, tal es el caso de entidades relevantes para modelar el fenómeno en cuestión. Una de ellas, es lo que describe a un ser vivo.

El enriquecimiento de los Modelos Explicativos Iniciales permite concluir que con la secuencia didáctica se contribuyó a que los alumnos construyeran una explicación más coherente con los aportes científicos sobre la dinámica de los ecosistemas desde el flujo energético, lo cual les permite operar de mejor modo en el mundo, con ello, se corrobora el supuesto del que se partió en el que se considera que los problemas de

aprendizaje son susceptibles de reducirse a partir de una reestructuración en el diseño y desarrollo curricular.

3. En la implementación de la estrategia didáctica, se presentaron algunas complicaciones relacionadas con los conocimientos previos de los alumnos, es decir, entender la dinámica de los ecosistemas en torno a las relaciones interespecíficas establecidas durante el flujo energético, demandan que tengan muy bien consolidada la definición de ser vivo, ello posibilita que se avance en el reconocimiento de las funciones ecológicas de cada uno de los niveles tróficos, sin embargo, durante la implementación se hizo evidente que este modelo no se encuentra desarrollado en el repertorio que poseen, es así que se tuvieron que realizar algunos ajustes a la secuencia didáctica y no se logró implementar la totalidad de las actividades programadas. En términos de lo anterior, los estudiantes no reconocían a las plantas como seres vivos ya que no lograban señalar cuales eran las propiedades que tienen las mismas y que las diferencian de lo inanimado, es decir, crecimiento, reproducción, irritabilidad, metabolismo, respiración y nutrición. Menos aún las lograban ubicar como la base de las cadenas alimentarias al ser las fijadoras de la energía solar y producir energía química disponible para el siguiente nivel trófico. Con respecto a los descomponedores tenían un papel desdibujado porque se reconocía la función en el ecosistema pero no la entidad que la realizaba.
4. De acuerdo con los resultados obtenidos en los diferentes momentos de análisis de los datos se da cuenta de que los Modelos Explicativos Iniciales evolucionaron después de las actividades de enseñanza. Se incorporaron algunas entidades, relaciones y condiciones.

Los resultados socializados en este documento, señalan que las ideas que construyen los alumnos sobre alimentación y energía, se encuentran poco relacionadas con las ideas sobre las interacciones entre los organismos.

Algunos autores citados por Driver *et al.* (1999) señalan que la comprensión de los estudiantes de las relaciones ecológicas depende del concepto de planta y animal que posean. Se ha reportado en la literatura que existe un limitado reconocimiento de lo que es un productor y un consumidor vinculado con la comprensión de planta y animal.

Los alumnos en general consideran que el tamaño, la fuerza y la ferocidad son una propiedad que determina la dirección en el consumo en las interacciones tróficas. Es decir, los organismos más fuertes tienen más energía, que usan para alimentarse de los más débiles que tienen menos energía; aunado a ello, existe una visión desdibujada sobre la existencia y función ecológica de los descomponedores. Además de que es evidente una visión teleológica sobre la existencia de los seres vivos.

Los Modelos Explicativos Iniciales parecidos a los reportados en la literatura evolucionaron en los siguientes rubros: a) reconocen a las plantas como seres vivos; b) reconocen a los animales y otros seres vivos diferentes de las plantas como consumidores con un tipo de nutrición heterótrofa; c) identifican claramente diferentes niveles tróficos por lo menos relacionados con el consumo: herbívoros y carnívoros; d) abandonaron la idea de que el tamaño y la ferocidad determinan la dirección del consumo en las cadenas alimentarias; e) abandonaron la concepción antropomórfica relacionada con la nutrición en el caso de las plantas verdes; f) reconocen a la energía como aquello que consume un ser vivo cuando se alimenta de otro, así como su importancia en relación con el mantenimiento, crecimiento y reproducción del consumidor; g) reconocen la existencia de un flujo energético unidireccional en las interacciones tróficas; h) avanzaron en la apropiación del lenguaje científico; hablan con mayor fluidez sobre productor, consumidor, autótrofo, heterótrofo, degradadores, energía, flujo energético, cadenas alimentarias, nivel trófico y estructura trófica; i) tienen claridad sobre las implicaciones negativas que tiene el que desaparezca un eslabón en las cadenas alimentarias.

Es preciso decir en este rubro que, aun cuando el Modelo Científico Escolar Logrado por el alumnado no es exactamente igual al Modelo Científico Escolar de Arribo propuesto, los modelos iniciales 1 y 2 se modificaron en dirección a este último.

5. Es importante señalar que a la hora del desarrollo curricular las concepciones docentes tienen un papel trascendental ya que es en ese momento en el que la visión del profesor sobre ciencia, aprendizaje y enseñanza influyen directamente en el desarrollo curricular, por ello es importante que se propicie a partir de las universidades y centros de investigación que los docentes se profesionalicen y colaboren activamente en los proyectos de investigación.
6. Finalmente, con respecto al diseño y aplicación de la secuencia didáctica es necesario mencionar que la fase de pilotaje brindó elementos a considerar para la reestructuración de la misma considerando tanto las actividades como los instrumentos para recabar los datos. Sin embargo, tomando en consideración que cada grupo escolar tiene dinámicas y necesidades diferentes, la implementación definitiva también tuvo que ser flexible y se concretaron únicamente tres fases de las cuatro diseñadas. En virtud de lo anterior, el diseño metodológico presentado en este documento es susceptible de mejorarse, no desde el punto de vista teórico, sino en lo relacionado con los instrumentos para la recolección de datos. Se sugiere que para investigaciones futuras se complemente el proceder metodológico con algunas entrevistas orales a los alumnos.

Aunado a lo anterior, se sugiere que en el grupo de trabajo, se retomen los siguientes elementos considerando que de no hacerlo, podrían constituirse como obstáculos para la reconstrucción de un Modelo Explicativo más cercano a las explicaciones científicas: a) en el tipo de nutrición autótrofa, hay deficiencias en la conceptualización de la fotosíntesis como proceso metabólico a través del cual las plantas verdes sintetizan sus nutrientes; b)

es necesario reestructurar la relación que establecen los alumnos sobre el movimiento en términos macroscópicos como un requisito para que las plantas se nutran; c) es necesario fortalecer con los alumnos la capacidad argumentativa, ya que algunos de ellos brindan respuestas correctas a los referentes planteamientos, sin embargo, dejan de lado los argumentos que les pudieran dar solidez a las mismas.

Referencias Bibliográficas

- Audesirk, T., Audesirk, G. y Byers, B. (2008). *Biología: Ciencia y naturaleza*. México: Pearson.
- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. (2004). *Ideas previas*. Recuperado de <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/ConsultsFrame.html>, consultado el 4 de febrero de 2013.
- Chamizo, J. y Márquez, J. (2006). Modelización molecular. Estrategia didáctica acerca de la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 9 (22), 729-744.
- Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Massarini, A. (2008). Capítulo 49. Ecosistemas. En Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Massarini, A. *Biología*, (pp. 944-964). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Driver, R. y Oldham, V. (1986). Un enfoque constructivista del desarrollo curricular en ciencias. En R. Porlán, E. García y P. Cañal (compls.) *Constructivismo y enseñanza de las ciencias* (pp.113-131). Sevilla: Díada Editorial, 1997.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989). Algunas características de las ideas de los niños y sus implicaciones en la enseñanza. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, (pp.291-304). Madrid: Morata.

- Driver, R., Squires, A. y Wood-Robinson, V. (1999). Las ideas de los niños sobre la vida y los procesos vitales, los seres vivos. En R. Driver, A. Squires y V. Wood-Robinson. *Dando sentido a la ciencia en secundaria* (pp. 187-192). México: Secretaría de Educación Pública.
- Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741-770.
- Duschl, R. (1997). La reestructuración de las teorías científicas. En R. Duschl. *Renovar la Enseñanza de las Ciencias* (pp.71-88). Madrid. Narcea
- Ernest, P. (1995). The One and the Many. En L. Steffe y J. Gale, *Constructivism in Education*, (pp. 459-486). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- García, M. P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en biología. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, 1-6.
- García, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En M. Quintanilla y A. Aduriz-Bravo (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio*, (pp. 279-298). Ediciones Universidad Santiago de Chile: Santiago de Chile.
- Giere, R. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, 63-70
- Gómez, A. (2006). El modelo cognitivo de ciencia y la ciencia escolar como actividad de formación. En *Configuraciones Formativas I. El estallido del concepto de formación*. México: Universidad de Guanajuato.
- Gómez, A. A. y Aduriz-Bravo, A. (2011). ¿Cómo enseñar ciencias? En A. D. López-Mota y M. T. Guerra (Coords.), *Las ciencias naturales en educación*

básica: formación de ciudadanos para el siglo XXI (pp. 95-130). México: Secretaría de Educación Pública.

Gómez, A., Sanmartí, N. y Pujol, R. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 325-340.

Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación -INEE- (2017). *México en PISA 2015*. México: INEE.

Izquierdo M., Espinet, M., García, M., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-92.

Izquierdo, M. (2003). Enseñanza y conocimiento especializado. Conocimiento y conceptos. En Cabré, M. Freixa, J. y Tebe, C. (eds). *Terminología y conocimiento especializado*, (pp. 55-86). Barcelona: Institut Universitari de Llengüística Aplicada. Universitat Pompeu Fabra.

Leach, J. Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2: Ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18(1), 19-34.

López-Mota y Moreno-Arcuri, (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Bio-Grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 1-25.

López-Mota, A. y Rodríguez Pineda, D. P. (2013). Anclaje de los Modelos y la Modelización Científica en Estrategias Didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, (Número extra), 2008 -2013

- López-Mota, A. y Waldegg, G. (2002). La didáctica de las ciencias como campo de estudio. En G. Waldegg, A. Barahona, B. Macedo, y A. Sánchez (coords.), *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*, (pp. 139-155). México: Secretaría de Educación Pública.
- López-Mota, A., Rodríguez, D., Reyes, F., Flores, M., Martínez, T. y López, C. (2012) *Ponencia presentada en el III Congreso Internacional y VIII Nacional de Investigación en Educación, Pedagogía y Formación Docente*. Bogotá, Colombia.
- Martínez, C. (2013). *Estrategia didáctica para promover la construcción del modelo de nutrición de las plantas verdes en la escuela primaria*. Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica Nacional. México.
- McFarland, J.L., Price, R.M., Wenderoth, M.P., Martinková, P., Cliff, W., Michael, J., Modell, H. y A. Wright. (2017). *Development and validation of the homeostasis concept inventory*. CBE-Life Sciences Education 16 (35), 1–13.
- Odum, E. y Barrett, G. (2006). La energía en los sistemas ecológicos. En Odum, E. y Barrett, G. *Fundamentos de Ecología* 5ta edición (p.p. 77-139). México: Cengage Learning.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Acomodación de un concepto científico: hacia una teoría del cambio conceptual. En R. Porlán, E. García y P. Cañal (Compls.) *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias* (pp.89-111). Sevilla: Díada Editorial, 1997.
- Puig, B., Bravo, B. y Jiménez, M. (2012). *Argumentación en el aula: Dos unidades didácticas*. España: Universidad de Santiago de Compostela.
- Rodríguez, D., López-Mota, A., López, C. y Flores, M. (2013). El campo de Educación en ciencias: una mirada desde la UPN. *Entre maestr@s*, 13(46), 60-67

- Sánchez, G. y Valcárcel, M. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-44.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. Perales y P. Cañal (coords.), *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 239-266). España: Marfil
- Sanmartí, N. (2002). Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza/aprendizaje. En N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp. 169-203). Madrid: Síntesis Educación.
- Sanmartí, N. (2002a). Enseñar Ciencias en los inicios del siglo XXI. En N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*, (pp.33-54). Madrid: Editorial Síntesis Educación.
- Sanmartí, N. (2002b). ¿Cuál es la naturaleza de la ciencia? En N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*. Madrid: Editorial Síntesis Educación.
- Secretaría de Educación Pública -SEP-. (2012). *Resultados prueba ENLACE 2012. Básica y Media Superior*. México: Secretaría de Educación Pública.
- SEP (2011). *Plan de Estudios 2011. Educación Básica*. México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular.
- SEP (2011a). Exploración de la Naturaleza y la Sociedad. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Primer grado*. (pp.87-113). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).
- SEP (2011b). Exploración de la Naturaleza y la Sociedad. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Segundo grado*. (pp.87-113). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General

de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

SEP (2011c). Ciencias Naturales. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Tercer grado* (pp.77-106). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

SEP (2011d). Ciencias Naturales. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Cuarto grado* (pp.79-108). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

SEP (2011e). Ciencias Naturales. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Quinto grado* (pp.81-110). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

SEP (2011f). Ciencias Naturales. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Sexto grado* (pp.81-110). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

SEP (2011g) Ciencias I. Énfasis en Biología. *En Programas de Estudio 2011. Guía para el Maestro. Educación Básica. Secundaria. Ciencias* (pp.37-46). México: Secretaría de Educación Pública - Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC) y Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio (DGFCMS).

Smith, T. y Smith, R. (2007). Ecología del ecosistema. En Smith, T y Smith, R. Ecología. 6ª edición (p.p. 444- 517). Madrid: Pearson.

Solomon, E., Berg, L., Martin, D. y Villet, C. (1998). Biología de Villet. México: McGraw-Hill Interamericana Editores.

Sutton, D. y Harmon, N. (2000). Fundamentos de ecología. México: Limusa.

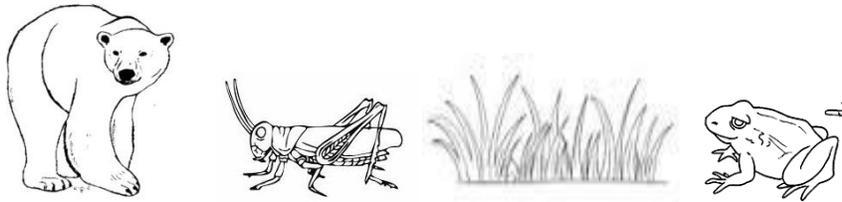
Anexo 1. Fase de iniciación o exploración

Escuela Primaria "Profesor José Dávila"

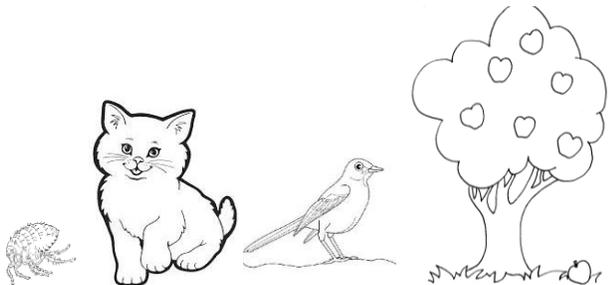
Nombre: _____

Instrucciones: Observa las imágenes y responde lo que se te solicita.

1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe por qué piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



2. En el dibujo de abajo hay un pájaro, un gato, una pulga y un árbol, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así.



3. Dibuja una flecha entre los siguientes seres vivos que indique quién se come a quién y escribe por qué piensas que es así.



Planta



Saltamonte



Rana

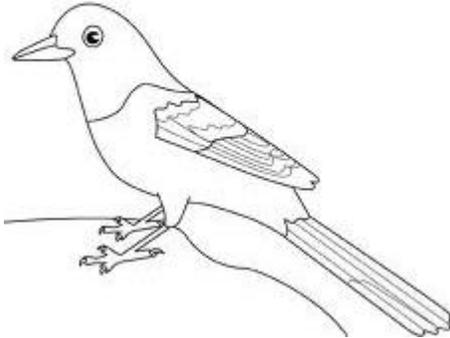


Zorro

4. Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra?

5. Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto.

Anexo 2. Fase Introducción de nuevos puntos de vista



Con las imágenes construye una explicación sobre el Flujo de energía. No olvides incluir las palabras **Productor**, **Consumidor**, **Degradador**. Incluye también las flechas que indiquen quién se come a quién y di si es **herbívoro o carnívoro**.

Finalmente **explica para qué le sirve a un ser vivo alimentarse de otro**.



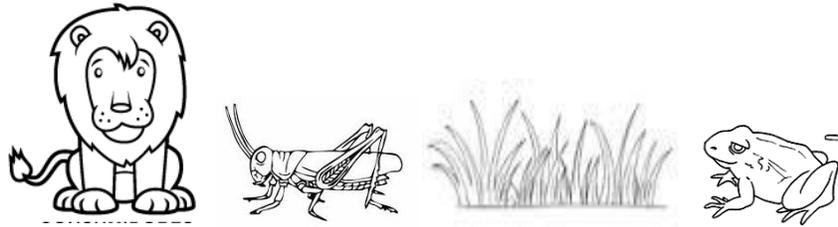
Anexo 3. Fase de síntesis

Escuela Primaria "Profesor José Dávila"

Nombre: _____

Instrucciones: Observa las imágenes y responde lo que se te solicita.

1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



2. En el dibujo de abajo hay un humano, una vaca, pasto y un piojo, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así.



3. Explica qué consume un saltamontes cuando se alimenta del pasto.



4. ¿Qué pasaría con los saltamontes si no existieran más productores?

Anexo 4. Ejemplo del instrumento 1 resuelto por un alumno.

Universidad Pedagógica Nacional
Maestría en Desarrollo Educativo.
Línea de Formación Educación en Ciencias
Escuela Primaria "Profesor José Dávila"

Nombre: Jonathan Abraham Maldonado Jimenez

Instrucciones: Observa las imágenes y responde lo que se te solicita.

1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



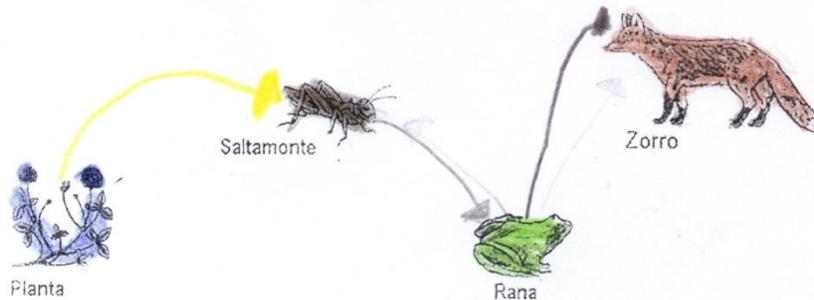
La planta porque solo son hojas y no puede comer esos animales

2. En el dibujo de abajo hay un pájaro, un gato, una pulga y un árbol, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así.

El gato al pajarito el pajarito a la pulga la pulga al árbol porque el gato es mas grande que el pajarito el pajarito es mas grande que la pulga y la pulga por el árbol no se muere pero se come las manzanas



3. Dibuja una flecha entre los siguientes seres vivos que indique quién se come a quién y escribe al reverso de la hoja por qué piensas que es así.



Universidad Pedagógica Nacional

Maestría en Desarrollo Educativo.

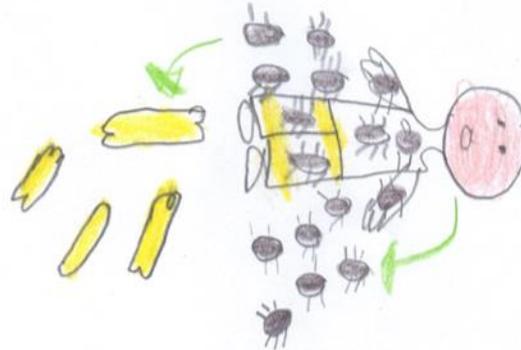
Línea de Formación Educación en Ciencias

El zorro se come a la rana porque es mas fuerte y rapido y es carnívoro
La rana al saltamonte
El grillo a la planta por que la planta no se mueve

4. Todos los seres vivos que encuentras en las diferentes preguntas en algún momento van a morir. ¿Qué hace que estos organismos muertos no se acumulen en la superficie del planeta Tierra?

Diferentes tipos de animales se comen todos los cadáveres y se desintegran

5. Has un dibujo en donde expliques cómo ocurre esto.

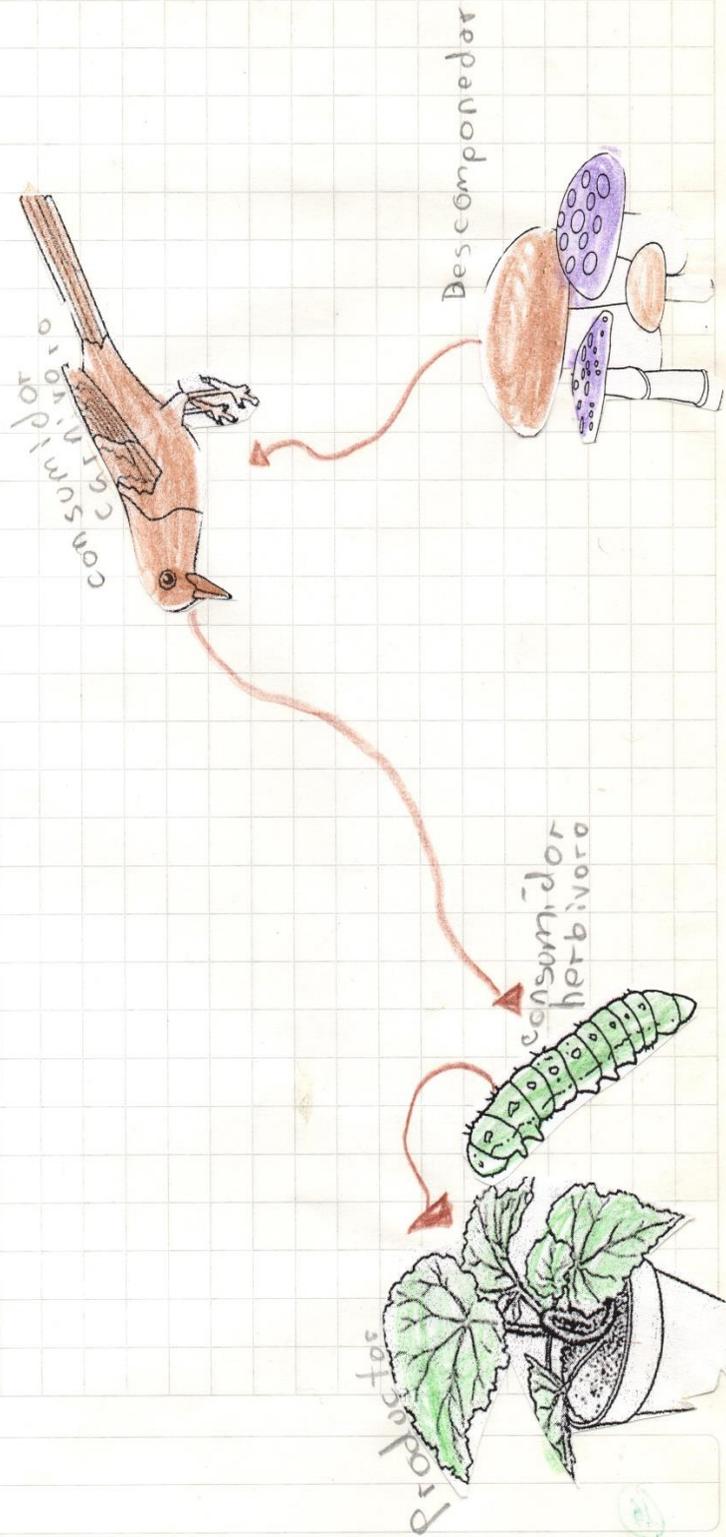


Los gusanos se comen el cadáver y luego es solo hueso

Anexo 5. Ejemplo del instrumento 2 resuelto por un alumno.

¿Para que le sirve a un ser vivo alimentarse de otro?
Para tener alimento y tener energía

Oswaldo Hdz. Reyes



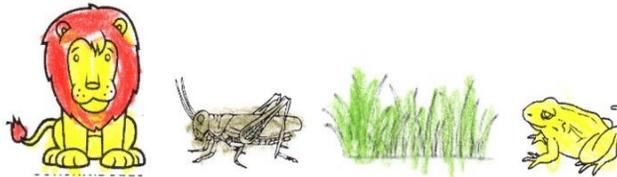
Anexo 6. Ejemplo del instrumento 3 resuelto por un alumno.

Universidad Pedagógica Nacional
Maestría en Desarrollo Educativo.
Línea de Formación Educación en Ciencias
Escuela Primaria "Profesor José Dávila"

Nombre: Sonathan Abraham Maldonado Jimenez

Instrucciones: **Observa las imágenes y responde lo que se te solicita.**

1. Aquí hay un ser vivo que no podría encontrar ni producir su alimento, identifícalo y escribe porque piensas que no se puede alimentar de ningún otro ser vivo de los que están en el dibujo.



El grillo porque no puede encontrar algo que comer ni ay nada de sus agrado

2. En el dibujo de abajo hay un humano, una vaca, pasto y un piojo, escribe quién se alimenta de quién y por qué piensas que es así. El humano a la vaca

la vaca al pasto el piojo al hombre porque la vaca da leche y carne el piojo la sangre y el pasto produce su alimento



3. Explica qué consume un saltamontes cuando se alimenta del pasto



Crias y se multiplica y energia

4. ¿Qué pasaría con los saltamontes si no existieran más productores?

Se muere y no se multiplica porque no hay otra cosa que coma