

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Secretaría Académica

Coordinación de Posgrado

Maestría en Desarrollo Educativo

Tesis que para obtener el grado de :

Maestra en Desarrollo Educativo

Con Título:

Construcción de modelos escolares sobre evolución biológica: una estrategia didáctica sustentada en la modelización

Presenta:

Gabriela Itzchel Salgado Jaramillo

Directora de tesis: **Dra. Diana Patricia Rodríguez Pineda**

Agradecimientos

A Dios por colocarme en sitios privilegiados que me proveen de tantos aprendizajes, bendiciones y retos.

A tí, ya que de no haberte encontrado en mi vida esta tesis no existiría, cada palabra escrita en ella tiene sentido porque tú estas acompañándome y creciendo conmigo. Gracias por ser mi salvación, mi esperanza y mi fe.

A mis adorados padres que siempre tienen palabras o acciones de aliento, amor y protección en todos los momentos de mi vida.

A mis hermanos que me dan tanta alegría y crecimiento.

Al enano maravilloso de mi sobrino que se ha convertido en mi perfecto compañero de juegos y que me impulsa a hacer mejor las cosas en este mundo que es para personas como él.

A mis hermanas elegidas Yareni, Rocío, Nadia y Janet, no veo mi vida sin ustedes, si tuviera que enunciar todo lo que tengo que agradecer a cada una de ustedes necesitaría más de 200 hojas, ¡las amo!. Gracias por estar en mi vida.

A todos los catedráticos de la maestría en Desarrollo Educativo con los que tuve el privilegio de trabajar, en especial a las doctoras Claudia Becerra, Teresa Martínez y Alberto Monnier ya que me enseñaron que la grandeza intelectual no esta peleada con la humanidad, el afecto y la posibilidad de empatía.

A mi directora de tesis la doctora Diana Patricia, gracias por todos los aprendizajes y el acompañamiento en este trayecto formativo.

Al doctor Ángel Daniel López gracias por ayudarme a crecer.

A mis lectores de tesis, las doctoras Adrianna y Claudia y doctores Ángel y Alvaro, mucha gracias por sus comentarios que de manera determinante ayudaron a mejorar el presente trabajo.

A los directivos, personal y alumnado de las escuelas secundarias 155, 228 y 85, que me permitieron realizar la aplicación de la propuesta.

A CONACyT por el financiamiento durante la maestría.

INDICE

Capítulo 1 Elementos para enmarcar el problema	
1.1 ¿Cómo se enseñan las ciencias de manera más eficaz?	2
1.1.1 Panorama general de investigaciones sobre la enseñanza de la evolución biológica	6
1.1.2 Aportes para construir la problemática	11
1.2 ¿Cómo piensan los alumnos sobre los fenómenos de la naturaleza?: el fenómeno de la variedad de seres vivos en lapsos prolongados de tiempo	15
1.2.1 Panorama general de investigaciones sobre concepciones alternativas del alumnado respecto a la evolución biológica	19
1.2.2 ¿Cuáles son las concepciones alternativas de los estudiantes sobre evolución biológica?	22
1.3 Posible incongruencia entre las concepciones sobre evolución biológica reportadas y lo planteado en el currículo de ciencias	28
1.4 Planteamiento del problema	32
1.5 Por qué la elección de este tema	34
1.5.1 Desde las evaluaciones	36
1.5.2 Enseñar o no evolución en educación básica: una discusión pendiente	38
1.6 Propósitos de la investigación	38
Capítulo 2 El aprendizaje como una construcción humana	
2.1 ¿Qué es el constructivismo?	40
2.1.2 El constructivismo desde su dimensión epistemológica	41
2.1.3 El constructivismo desde su dimensión psicológica	43
2.2 El constructivismo en la enseñanza de las ciencias	48
2.2.1 El Modelo Cognitivo de la Ciencia (MCC)	51
2.2.2 La actividad científica en el aula	54
2.2.3 La importancia del lenguaje en la enseñanza de las ciencias	55

2.3 A experimentar, pensar y comunicar: modelizar	57
--	-----------

Capítulo 3 Entre modelos

3.1 Modelo cognitivo derivado de la revisión de las concepciones alternativas de la evolución biológica (MC)	61
3.2 Modelo Científico Experto (MCE) de evolución biológica	65
3.2.1 Algunas ideas en torno a la evolución biológica en la historia de las ciencias: de griegos a ilustrados	65
3.2.2 La primera teoría coherente de la evolución biológica: Jean Baptiste Lamarck	70
3.2.3 La historia de un `mal´ estudiante y un socialista ignorado	77
3.2.4 El origen de las especies	85
3.2.5 Teoría sintética de la evolución	87
3.2.6 Modelo Científico Experto (MCE) de evolución biológica	94
3.3 Modelo Científico Curricular (MCCu) de evolución biológica para educación secundaria	103
3.4 Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) de evolución biológica	107
3.5 Comparación entre el MC y el MCEA	111

Capítulo 4 Una estrategia didáctica sobre la evolución biológica basada en la modelización

4.1 Diseño de la estrategia	115
4.1.2 Criterios de diseño	115
4.1.3 Propósito de la estrategia didáctica	117
4.1.4 Estructura de la estrategia didáctica	117
4.2 Desarrollo de la estrategia	125
4.2.1 Pilotaje	126
4.2.2 Aplicación definitiva	127
4.3 Evaluación de la estrategia didáctica	127

4.4 Un alto en el camino	128
---------------------------------	------------

Capítulo 5 Datos y análisis de resultados

5.1 Panorama general de evolución biológica: red semántica inicial	133
---	------------

5.2 Modelos Cognitivos iniciales (MCIs) en el aula	143
---	------------

5.2.1 Modelo cognitivo inicial <i>inclinado hacia el ciclo de vida</i>	145
--	-----

5.2.2 Modelo cognitivo inicial con <i>rasgos evolutivos</i>	149
---	-----

5.2.3 Modelo cognitivo inicial <i>inclinado hacia la tecnología</i>	154
---	-----

5.3 Contraste entre MC reportado en la literatura y los MCIs	159
---	------------

5.4 Modelos Científicos Escolares Intermedios (MCEI)	165
---	------------

5.4.1 Primer corte: modelo científicos escolares inferidos en las actividades de introducción de nuevas ideas	165
---	-----

5.4.1.1 El modelo científico escolar intermedio (MCEI) <i>inclinado hacia el ciclo de vida</i>	166
--	-----

5.4.1.2 El modelo científico escolar intermedio (MCEI) <i>evolutivo</i>	168
---	-----

5.4.2. Segundo corte: modelo científico escolar intermedio (MCEI) subyacente en las actividades de síntesis	169
---	-----

5.4.2.1 El modelo científico escolar intermedio <i>evolutivo</i>	172
--	-----

5.5 Modelos Científicos Escolares Alcanzados (MCEAIs)	174
--	------------

5.5.1 Modelo científico escolar alcanzado (MCEAI) <i>mezclado</i>	177
---	-----

5.5.2 Modelo científico escolar alcanzado (MCEAI) de <i>uso y desuso</i>	178
--	-----

5.5.3 Modelo científico escolar alcanzado (MCEAI) <i>evolutivo</i>	179
--	-----

5.6 Comparación entre el MCEA y los modelos científicos escolares alcanzados	180
---	------------

5.7 Panorama general de la evolución biológica: red semántica final	187
--	------------

5.8 Análisis de la estrategia didáctica	189
--	------------

5.8.1 Desde los criterios de diseño de la estrategia	189
--	-----

5.8.2 A partir de los propósitos de la estrategia	194
---	-----

5.8.3 Desde los criterios de evaluación de la estrategia	195
--	-----

Capitulo 6 Discusión	
6.1 Algunos aportes de la propuesta	200
6.2 Contraste entre la teoría y la realidad	208
6.3 Los límites de la intervención	216
6.4 Consideraciones finales	218
6.5 Implicaciones para futuras investigaciones	219
Referencias Bibliográficas	221
Anexos	230

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se plantea como una humilde propuesta en el ámbito de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque teórico de la modelización. Nace a partir de dos dudas principalmente, una correspondiente al ámbito personal y otra al campo de la enseñanza de las ciencias. De manera personal siempre me he cuestionado ¿cuál es la manera más atinada de enseñar ciencias en educación básica? y es que en el transcurso de mis años de servicio al tiempo que viví experiencias que me indicaban posibles caminos para el logro de aprendizajes con sentido en los alumnos, evidenciaba también como las mismas experiencias paradigmáticas no funcionan en grupos de alumnos aunque fueran similares en edad escolar, contexto social y estimulación cultural; las estrategias que funcionaban en un grupo no lo hacían de la misma manera en otro, esta inquietud, de ¿cómo enseñar ciencias de una manera más eficaz para el logro de aprendizaje en los alumnos?, fue lo que me acercó a cursar la maestría que se culmina con este documento.

La segunda duda, la genere al adentrarme al mundo académico tan nutrido y estimulante de la línea de enseñanza en ciencias de la maestría en Desarrollo Educativo de esta universidad; en el que además de conocer la existencia y desarrollo de un campo de investigación -el de enseñanza de las ciencias- que ya buscaba respuesta a mi duda personal conocí a profesionales con un gran valor ético, humano y académico que me orientaron a saber que la interrogante emergente del campo gira en torno a la generación de propuestas didácticas que ayuden a acercar a la población general a los modelos teóricos que promulga la ciencia.

1. De manera que con la dirección de los catedráticos de la línea identifique que una de las propuestas teóricas potentes para el logro de una enseñanza eficaz es la modelización y que la manera en que podía aportar un poco al ámbito de la enseñanza de las ciencias es elaborando una propuesta didáctica anclada en ella. Para tal fin este trabajo se ha organizado en seis capítulo cuyo contenido se expresa brevemente a continuación.

En el primer capítulo se describe y argumenta el problema de la distancia entre las concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos de la naturaleza y los modelos teóricos que ha elaborado la ciencia; enunciando cada uno de los elementos que dan forma a este problema y que van desde la explicitación del fenómeno de referencia que servirá para desarrollar la propuesta didáctica, la revisión de las concepciones alternativas y las investigaciones del campo de la enseñanza de las ciencias al respecto reportadas en la literatura y la posible tensión entre lo que piensan los alumnos y lo que dice la ciencia al respecto del fenómeno de referencia. Para finalizar la sección se justifica la importancia de abordar este problema y se exponen las preguntas de investigación, hipótesis teóricas y propósitos que guiarán la presente tesis.

En el segundo capítulo se describe la corriente en la que se ancla la presente propuesta qué es el constructivismo, para después enunciar las peculiaridades de la modelización. Para que tenga sentido la modelización se argumentan algunos de sus puntos medulares como son el modelo cognitivo de la ciencia de Giere, la ciencia escolar, la actividad científica escolar y la importancia del lenguaje durante este capítulo.

El tercer capítulo trata sobre los modelos que explican el fenómeno de referencia de la tesis: desde la ciencia, el curriculum y las concepciones alternativas, para con ellos generar el modelo al que se pretende que arriben los alumnos. Para ello se hace una revisión exhaustiva de la teoría al respecto, se infiere el modelo cognitivo de las concepciones alternativas, se revisa también la trasposición didáctica del curriculum sobre el modelo teórico y se elabora el modelo al que se pretende arribar al alumnado hacia el final de la estrategia.

La estrategia didáctica se explicita en el cuarto capítulo estableciendo los criterios de diseño y evaluación, la estructura, el propósito general y propósitos particulares, las actividades que le dan forma y se hace una breve exposición de las fases de pilotaje y aplicación de la misma.

El quinto capítulo presenta los resultados generados en la aplicación de la estrategia en un grupo de primero de secundaria, donde se contrasta lo encontrado en la investigación con los reportes de la literatura, así como se infieren los modelos que el alumnado ha logrado en distintos momentos de la estrategia especificando sus cualidades y se hace una valoración global de la estrategia didáctica.

Por último, en el sexto capítulo se discute las posibles aportaciones de la propuesta frente a lo encontrado en la literatura, se pone de frente a las preguntas de investigación, hipótesis y propósitos con lo que ocurrió durante la aplicación, se reconocen las limitaciones de la propuesta, se puntualizan sobre algunas consideraciones finales y se proponen algunas implicaciones en futuras investigaciones.

CAPÍTULO 1

ELEMENTOS PARA ENMARCAR EL PROBLEMA

La enseñanza de las ciencias dista de ser una tarea sencilla, basta acercarse a cualquier profesional vinculado en la labor docente en ciencias y preguntar ¿qué necesita para enseñar ciencias en el día a día? y comenzará con una larga lista de competencias profesionales sin las que su quehacer resultaría imposible. Dentro de estas competencias encontramos desde el dominar el área de conocimiento en ciencias, hasta asuntos relacionados con cómo hacer que los alumnos accedan de manera menos complicada al conocimiento científico.

Indagar sobre las competencias profesionales necesarias para enseñar ciencias, los procesos que se ponen en juego en la enseñanza (contrato didáctico, transposición didáctica, metodologías de enseñanza, materiales y condiciones, etc.), ¿cómo piensan los alumnos?, entre otros asuntos relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales da origen a un ámbito de investigación, que se ha consolidado en las últimas décadas, denominado educación en ciencias o enseñanza de las ciencias, cuyo objeto de estudio como lo apunta López y Mota (2002) es analizar (metaconocimiento) y realizar (conocimiento) investigaciones

“...que permitan en perspectiva, mejorar la enseñanza de las ciencias naturales... y su aprendizaje en los individuos..., a partir de considerar los procesos cognitivos de representación de los alumnos relativos a la adquisición y desarrollo de conceptos, habilidades y actitudes...” (p.363)

La educación en ciencias ha desarrollado un amplio campo de investigación que se nutre por trabajos con múltiples inclinaciones, la inclinación de cada investigación del ámbito surge a partir de interrogantes que guían los objetos de estudio, en particular en este documento son dos las preguntas de investigación de este ámbito de conocimiento en las que nos enfocaremos: la primera es ¿cómo se enseñan las ciencias de manera más eficaz? y la segunda ¿cómo piensan los alumnos sobre los fenómenos de la naturaleza que la ciencia explica?.

1.1 ¿Cómo se enseñan las ciencias de manera más eficaz?

La primera cuestión -¿cómo se enseñan las ciencias de manera más eficaz?- se ha intentado resolver en el campo de la educación en ciencias con el apoyo de disciplinas como la historia de las ciencias, la filosofía de las ciencias y la pedagogía, que impactan en la configuración de enfoques teóricos que proponen intervenciones didácticas documentadas y sustentadas (el cambio conceptual o la modelización, por ejemplo). Lo anterior implica que el ámbito de la educación en ciencias es de naturaleza interdisciplinaria (López y Mota, 2006), ya que se nutre de distintas asignaturas al reconocer la complejidad que suponen los procesos implicados en la enseñanza de las ciencias.

Uno de los enfoques teóricos que surgen en este ámbito de investigación, para intentar alumbrar el camino hacia una enseñanza de las ciencias más eficaz, es la modelización, corriente teórica en la que declaramos anclaje en este documento. La modelización es un enfoque teórico que retoma aspectos particulares de las distintas disciplinas que nutren al campo, los principales aspectos que retoma la modelización son:

- Una preocupación por ¿qué modelos teóricos de ciencia enseñar? (Duschl, 1998; Izquierdo, 2008)
- El planteamiento de la transposición didáctica
- El término de ciencia escolar
- La ciencia vista desde un enfoque `basado en modelos´ (Giere, 1999)
- El fenómeno de referencia de la naturaleza que se modeliza en el aula

Los aspectos anteriores se entrelazan en los siguientes párrafos, intentando dar al lector una visión general de las implicaciones de la modelización en la enseñanza de las ciencias, que nos permita posteriormente enmarcar el problema.

La preocupación sobre ¿qué modelos teóricos de ciencia enseñar?, surge a pesar de que algunos profesores de ciencias naturales sostienen la creencia de que los modelos teóricos son prescriptos y dados desde el currículo (Sanmartí, 2002), ya que la

modelización empodera al profesor, al plantear que es él quien reconstruye el modelo teórico curricular en un modelo con posibilidad de ser enseñado.

Si bien, este modelo teórico a ser enseñado debe ser congruente con los parámetros del currículo prescrito normativamente, no es idéntico, al respecto se plantea que “acertadas o equivocadas..., el profesor toma cada día numerosas decisiones relativas al diseño, la impartición y la evaluación de la instrucción” (Duschl, 1998: 18), estas decisiones no están establecidas normativamente en ningún tratado general, si bien existen orientaciones -en guías, planes y programas, etc.-, el poder de decisión en el aula lo sigue teniendo el profesor.

La reconstrucción del modelo teórico curricular que realizan los profesores para poder enseñar, obedece claramente a su concepción epistemológica y de aprendizaje (Rodríguez, 2007) -aunque ellos no siempre son conscientes o coherentes con esta relación entre su práctica y sus concepciones-; y se expresa en la selección y redefinición de los modelos a introducir, así como en la selección de las experiencias paradigmáticas para trabajar esos modelos teóricos del currículo.

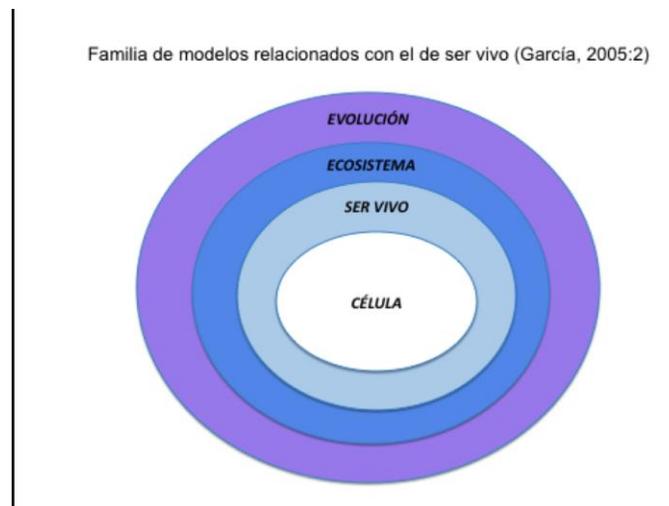
Al cambio de los modelos teóricos a modelos y formas propias para la enseñanza Chevallard (1985) lo denomina transposición didáctica, que de acuerdo con Sanmartí (2002) se refiere a “los mecanismo a través de los cuales un objeto de saber científico pasa a ser objeto de saber a enseñar” (p.79). Al realizar esta transposición didáctica, donde se reformulan modelos científicos o de ciencia experta (Gómez, 2006) hacia modelos a enseñar llamados ciencia escolar (Osborne y Freyberg, 1990; Izquierdo *et al*, 1999; Sanmartí, 2002), no se realiza una simplificación sino un ajuste que permita la construcción y comprensión de modelos teóricos por el alumnado que sean cercanos a los modelos científicos.

Para poder realizar una transposición didáctica y configurar la ciencia escolar que se construye en el aula, Sanmartí (2002) señala que un elemento esencial es el reconocimiento de “los modelos de la ciencia de referencia más significativos” (p.82).

Aclararemos primero -de manera general- desde donde se plantea el concepto modelo¹ que hemos utilizado a lo largo del texto: en la ciencia desde una postura cognitiva (Giere, 1992) se considera que los científicos representan al mundo a través de teorías, estas teorías tienen un poder explicativo de ciertos fenómenos de la realidad, por lo tanto son un referente de esa realidad. Ellas -las teorías- se componen de un conjunto de modelos organizados y jerarquizados, *un modelo entonces (Giere, 1999) es un conjunto de conceptos, experiencias y analogías propias de los científicos, que están articulados y permiten explicar uno o varios fenómenos de la naturaleza.*

Una de las ciencias naturales es la biología, en ella se encuentran claramente una serie de modelos significativos necesarios para considerarlos como “base para la alfabetización científica de toda la población” (Sanmartí, 2002: 83); entre los que destaca el modelo de ser vivo, como principal objeto de estudio de la biología. Modelo que solo tiene sentido y poder explicativo en interacción con otros modelos, en la figura 1 se muestra la familia de modelos teóricos con los que se relaciona el modelo de ser vivo. Como podemos observar uno de esos modelos científicos es la evolución biológica.

Figura 1. Familia de modelos relacionada con evolución (García, 2005: 2)



¹ En el marco teórico se profundiza sobre los modelos y su implicación en el enfoque de enseñanza de la modelización.

La importancia del modelo de evolución biológica es que tiene un potente poder explicativo para varios fenómenos que ocurren en los seres vivos -la biodiversidad, organización y clasificación de los seres vivos, dinámica de poblaciones, entre otros- por ello “es indudable el interés por que se aprenda adecuadamente” (Jiménez, 2002: 48).

La perspectiva constructivista en la que se encuentra anclado el presente trabajo: la modelización, asume que más que abordar un modelo teórico para su construcción en el aula, la actividad escolar deberá estar centrada en la construcción de una explicación sobre un fenómeno particular, en el caso de esta tesis tomamos como ***fenómeno de referencia la variedad de seres vivos en lapsos prolongados de tiempo.***

La variedad de seres vivos es un fenómeno de la naturaleza con el que los alumnos están en constante contacto, pero que poco relacionan con el modelo teórico de evolución biológica, como se revela en la revisión de las concepciones alternativas al respecto de la evolución biológica -que se plantea más adelante-, ninguna de las concepciones alternativas hacen referencia a la biodiversidad como producto de la evolución. El tomar como fenómeno de referencia del modelo teórico de la evolución biológica, la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, se justifica porque corresponde con los planteamientos de planes y programas de educación básica vigentes que dedican un bloque temático al fenómeno “Bloque 1. La biodiversidad: resultado de la evolución” (SEP, 2011:67).

El centrar la actividad que se hace en el aula para enseñar ciencias -actividad científica escolar (Izquierdo, 2008)-, en un fenómeno de referencia como es la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo representa una de las grandes diferencias entre la presente tesis y otras propuestas inmersas en el ámbito de la enseñanza de ciencias, que dirigen su mirada a los conceptos centrales de las disciplinas más que a la integración articulada de estos conceptos en conjuntos congruentes, dando lugar a la construcción de un modelo teórico para explicarse un fenómeno de referencia como lo hace la modelización.

Para abordar el fenómeno de la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, realizamos una revisión de las propuestas didácticas reportadas en el ámbito de la educación en ciencias sobre el modelo teórico de la evolución biológica, ya que al ser la modelización un enfoque teórico en consolidación aun no se encuentran en la literatura investigaciones sobre los fenómenos de referencia, sino sobre el modelo teórico que los explica, en este caso: la evolución biológica. Por lo tanto, a continuación se explicitan los hallazgos en la literatura que puedan mostrar un panorama general de lo que han investigado otros enfoques teóricos respecto al modelo teórico en cuestión.

1.1.1 Panorama general de investigaciones sobre la enseñanza del modelo teórico de evolución biológica

La polémica surgida a nivel social y cultural a partir de la publicación de El Origen de las Especies de Charles Darwin (1859) donde expone su teoría de la evolución, ha hecho que surjan múltiples investigaciones sobre diversos aspectos de la enseñanza de la evolución biológica. Para conocerlas, se ha realizado una revisión de la literatura en las siguientes bases de datos PSYCINFO y DIALNET así como en la página web del CECADET; a raíz de la cual se identifican dos orientaciones principales entre los reportes:

1. Investigaciones que proponen desarrollos didácticos y debates sociales sobre la enseñanza de la evolución biológica e
2. Investigaciones sobre las concepciones alternativas del alumnado respecto a la evolución biológica.

En este apartado, nos referiremos en particular a aquellas indagaciones relacionadas con la primera orientación, puesto que las investigaciones a las que se hace referencia en la segunda orientación, serán tratadas más adelante en un apartado específico², dado la relevancia que tienen en la construcción del problema.

² Apartado 1.2.1

Las investigaciones que ubicaremos en este segmento se refieren a experiencias didácticas relacionadas con la enseñanza de la evolución biológica; tales como desarrollos didácticos, revisiones de libros de texto y debates sociales en torno a la enseñanza de la evolución biológica;³ como se plantea a continuación.

Existen una serie de investigaciones que proponen intervenciones didácticas con la intención de lograr avances en una enseñanza más eficaz del modelo de evolución biológica, algunas de ellas ancladas en la perspectiva teórica del cambio conceptual (Jiménez y Fernández, 1989; Gené, 1991; Jiménez, 1991; Jiménez, 2009) se desarrollaron con alumnado del área de ciencias biológicas y futuros profesores. Investigaciones que han identificado algunas de las concepciones alternativas del alumnado -que serán explicitadas más adelante-, así como las dificultades que conlleva la enseñanza de la evolución en el aula y algunos acercamientos a una enseñanza de la evolución biológica eficaz, al asegurar que partir de las concepciones alternativas del alumnado y el ponerlas en conflicto es una necesidad en las aulas; así como que las mejores pruebas que la evolución biológica que existe para el alumnado son las que muestran mejoras en la funcionalidad de los individuos.

En el mismo sentido, algunas investigaciones han propuesto intervenciones didácticas pero desde la perspectiva de análisis del discurso centrado en el alumnado (García *et al.*, 2011), en ellas se ha encontrado la presencia recurrente de argumentos religiosos al definir el modelo teórico de la evolución biológica y una diversidad de significados que tienen algunas de las palabras centrales de este modelo teórico -adaptación, evolución, etc.- la mayoría de ellos alejados de lo que dice la ciencia.

La implicación de argumentos religiosos al explicar el modelo de evolución biológica, ha llevado a investigadores como Soto-Sonera (2009) ha indagar sobre la relevancia que tiene la postura religiosa de los profesores de ciencias al enseñar el modelo teórico de evolución biológica, por medio de estudios cualitativos, que aportan que existe una

³ Más adelante se trata la tendencia que alude a las concepciones alternativas del alumnado respecto al modelo teórico de la evolución biológica.

fuerte relación entre las creencias religiosas del profesorado y el cómo enseñan o suprimen el tema en el aula. En materia de la incursión de argumentos religiosos en la escuela para la enseñanza de la evolución biológica, Ruiz (2011) expone algunas de las razones por las que es inconmesurable que se pretenda otorgar el valor de modelo teórico al denominado 'diseño inteligente' -creación divina- ya que pertenecen a marcos de referencia distintos: el razonamiento científico y la fe.

Otras investigaciones se han dado a la tarea de revisar los programas y libros de texto en torno al modelo teórico de la evolución biológica, en este rubro encontramos a De la Gándara y Gil (2002) que revisaron la interpretación del concepto 'evolución biológica' a través de los libros de texto de secundaria obligatoria en España, revelando que existen serias dificultades de claridad conceptual derivadas de no hacer explícito el marco teórico desde donde se trata conceptos como la adaptación o la evolución, así como el uso de un lenguaje poco preciso en los libros y la falta de actividades que permitan crear contextos experimentales. Las dificultades relacionadas con la interpretación de conceptos del modelo teórico de evolución biológica, se han identificado como uno de los mayores obstáculos para la enseñanza de la evolución biológica (Grau y De Manuel, 2002) identificando a la simplificación conceptual, el pensamiento causal y la influencia de los medios de comunicación como principales responsables.

En este sentido, investigadores como Torreblanca *et al.* (2009) y Cavadas (2011) argumentan que es común, tanto en libros de texto como en planes y programas, que se trate el modelo de la evolución biológica centrándose en ejemplos particulares (como el de la jirafa) y en términos como competencia, selección natural y adaptación; realizando comparaciones entre el lamarckismo y el darwinismo, donde se impone la presencia de la teoría Darwinista en estos escenarios.

La comparación entre el modelo teórico darwinista y las ideas lamarckistas para explicar la evolución biológica, en distintos escenarios, ha dado elementos de análisis en diversas investigaciones, por ejemplo Jiménez (2002) identifica a partir de plantear

esta comparación con ejemplos de cambio biológico dificultades en el aprendizaje de la evolución biológica, como son el uso incorrecto de términos relacionados con la evolución como `adaptación´ y el uso de ejemplos sólo pertenecientes al reino animal.

En cambio, otras investigaciones se han inclinado a analizar el conocimiento profesional y escolar sobre la evolución biológica en grupos de docentes (Gutiérrez, 2004), donde evidencian la tendencia reduccionista con la que es tratado el modelo de la evolución biológica en el aula, la falta de conocimientos teóricos y coherencia entre el discurso del profesor y su práctica.

Además de las investigaciones citadas con anterioridad, se ha encontrado que existe una debate sobre la pertinencia de enseñar el modelo teórico de evolución biológica en la escolaridad básica: por un lado investigadores como Deadman y Kelly (1978) argumentan que son las `fuentes extraescolares´ las que fomentan una interpretación finalista de la evolución, así como una mirada de proceso activo en la adaptación, puntualizando que por ello es necesaria la inclusión de la evolución biológica en el currículo formal de la enseñanza en ciencias; en una postura similar se ubican Sussane y Rebato (2006), al argüir que el discurso en contra de la enseñanza de este modelo teórico no proviene de bases científicas sino de estatus políticos y religioso, por lo que resaltan la importancia de la enseñanza de la evolución biológica en función de la alfabetización científica.

Por otro lado, encontrados a investigadores como Shayer y Adey (1984) que exponen que contenidos teóricos como la selección natural y evolución deben plantearse a estudiantes mayores de 16 años debido a que el nivel de abstracción y demanda cognitiva de estos temas excede a la mayoría del alumnado entre 12 y 16 años, a partir de hacer un estudio comparativo basados en los cuatro grandes periodos de desarrollo del niño planteados por Piaget. De modo similar Paz (1999), argumenta que la madurez temporal de niños de primaria es un obstáculo para el aprendizaje del complejo modelo de la evolución biológica, después de realizar pruebas con grupos de escolares mexicanos. Recomienda una formación docente adecuada y el respeto a la

construcción gradual de conceptos en los niños como clave para el aprendizaje de este tema.

En la tabla 1 se encuentra una síntesis de las investigaciones reportadas anteriormente, resaltando elementos como el país de origen, nivel escolar, muestra de indagación y el objeto de investigación, con la intención de mostrar una visión general de lo descrito anteriormente.

Tabla 1. Cuadro comparativo de investigaciones sobre la enseñanza de evolución biológica.

Autor/ año	País	Nivel escolar	Muestra	Objetivo de investigación
Deadman y Kelly (1978)	E.U.A	Medio superior	Bachillerato	Evidenciar la influencia del entorno extraescolar en la formación de interpretaciones erróneas del fenómeno de evolución biológica.
Shayer y Adey (1984)	E.U.A.	Básico	Teórica: teoría de la evolución y estadios de desarrollo piagetianos.	Evidenciar alcances escolares a partir de los estadios de desarrollo infantil de Piaget.
Jiménez y Fernández (1989) Jiménez (1991)	España	Superior	Universitarios del área de ciencias biológicas	Proponer un modelo de enseñanza y aprendizaje sobre evolución desde el cambio conceptual.
Gene (1991)	España	Superior	Universitarios, futuros profesores	Proponer una unidad didáctica para el cambio conceptual de la evolución biológica.
Paz (1999)	México	Básico	Primaria	Argumentar sobre la complejidad del tema evolutivo en infantes.
De Gandara y Gil (2002)	España	Básico	Libros de texto de secundaria	Revisar la interpretación del concepto evolución a través de los libros de texto.
Grau y De Manuel (2002)	España	Medio Superior	Bachillerato y universitarios	Explorar los obstáculos que enfrenta la enseñanza y aprendizaje de evolución.
Jiménez (2002)	España	Superior	Universitarios de biología, futuros profesores y profesores en servicio.	Explorar las dificultades que enfrentan estudiantes al aplicar el modelo de evolución darwinista a ejemplos de cambio biológico.
Gutiérrez (2004)	España	Básico	Docentes	Analizar el conocimiento profesional y escolar sobre evolución biológica en profesores.
Sussane y Rebato (2006)	España, E.U.A. Israel.	Superior	Universitarios, especialistas.	Revisar debates referentes a la pertinencia de enseñar evolución.
Jiménez (2009)	España	Medio Superior	Bachillerato, universitarios	Identificar ¿cuáles son las que el alumnado considera pruebas de la evolución?
Torreblanca <i>et al.</i> (2009)	España	Básico	Libros de texto	Reflexionar sobre el ejemplo crucial de la jirafa en la enseñanza de la evolución en libros de texto.
Soto-Sonera (2009)	Puerto Rico	Básico	Docentes en servicio	Evidenciar la relevancia de las creencias religiosas en la postura

				teórica y didáctica que asumen los docentes
Cavadas (2011)	Portugal	Superior Básico	Libros de texto y programas	Revisar los programas de zoología y libros de texto portugueses para identificar desde que características se ancla la evolución.
<i>García et al.</i> (2011)	España	Medio Superior	Bachillerato, universidad	Evaluar una serie de actividades sobre evolución desde una perspectiva de análisis de discurso, valoración de la profesora y expresión escrita.
Ruiz (2011)	Europa	Básico	Entorno social	Expone y analiza los argumentos de grupos religiosos que pretenden introducir a la escuela la teoría creacionista del “diseño inteligente”.

A manera de síntesis sobre la tabla anterior, podemos argumentar que la mayoría de las investigaciones consultadas fueron realizadas en España, mientras algunas otras en países como E.U.A., Portugal, México, y entre otros países. El nivel escolar es variado, aunque la mayoría de las investigaciones reportadas se realizaron en nivel superior y medio. Aunque la muestra elegida en los estudios es distinta, la inclinación principal es hacia universitarios o futuros docentes, lo que implica que las investigaciones en escolares de educación básica es mínima. Los objetos de investigación son diferentes aunque giran en torno a dificultades u obstáculos en la enseñanza de la evolución biológica.

1.1.2 Aportes para construir la problemática

La exposición del apartado anterior nos permite apuntar ciertos elementos que pueden generar tensión en el campo de la educación en ciencias sobre cómo enseñar el modelo teórico de la evolución biológica y que son parte del problema en el que intentará incidir la presente tesis:

- Las propuestas de intervención consultadas, ancladas en el enfoque teórico del cambio conceptual y el análisis de discurso (Jiménez y Fernández, 1989; Gené, 1991; Jiménez, 1991; Jiménez, 2009), manifiestan la existencia de ciertos obstáculos para la enseñanza eficaz del modelo teórico de la evolución biológica -que nos interesan porque este modelo es el que explica el fenómeno de la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo-, que son: el uso de reglas de simplificación para identificar y entender las causas de procesos

complejos, el pensamiento antropocéntrico, influencias culturales derivadas del lenguaje, ideas aparentemente coherentes y útiles para explicar de manera cotidiana el modelo teórico de la evolución pero totalmente alejadas de lo que plantea la ciencia y el uso que le dan los medios de comunicación a algunos términos relacionados con este fenómeno -términos como adaptación y evolución- (Gené, 1991; Grau y De Manuel, 2002; Jiménez, 2002, 2009; García *et al*, 2011).

- Existen ciertos argumentos religiosos que intentan explicar el modelo teórico de evolución biológica tanto en el alumnado como en los profesores, y es en los profesores en quienes llega a impactar en el tipo de práctica docente que deciden desarrollar (Soto-Sonera, 2009; Ruiz, 2011), mientras que en los alumnos impacta en las concepciones alternativas con las que llegan al aula.
- Tanto en docentes, en libros de texto y en algunos planes y programas - reportados en las investigaciones- se muestra una visión reduccionista del modelo de la evolución biológica, poca precisión en el lenguaje, carencia de claridad temática y falta de propuestas de actividades de experimentación que mejoren los contextos de aprendizaje (De la Gándara y Gil, 2002; Gutiérrez, 2004).⁴
- En el campo se vislumbra un debate entre la pertinencia de enseñar el modelo de evolución biológica en la escolaridad básica, debido al grado de abstracción y complejidad que supone (Shayer y Adey, 1984; Paz, 2011).

Son dos los elementos de tensión de la lista antes enunciada que consideramos requieren una descripción más exhaustiva, debido a las implicaciones que tienen en la enseñanza del modelo de evolución biológica: uno de los elementos es el conjunto de obstáculos identificados en la literatura y el otro el debate sobre la pertinencia de enseñar evolución biológica en la escolaridad básica. En la figura 2, se enlistan los obstáculos para la enseñanza y el aprendizaje de la evolución biológica -identificados

⁴ Si bien la intención de la presente tesis dista de revisar los libros de texto o las concepciones de los profesores respecto a la evolución biológica, es importante tomar en cuenta que la falta de claridad, poca precisión en el lenguaje en clase y la carencia de contextos de experimentación dificultarían la labor docente, que es el espacio donde pretende tener inferencia este documento.

en las investigaciones consultadas-, adelante se describe a que se refieren algunos de ellos que más llaman la atención en este documento.

Figura 2. Obstáculos en la enseñanza y aprendizaje de la evolución biológica.

El uso de reglas de simplificación para identificar y entender las causas de procesos complejos. amalgama

- El pensamiento antropocéntrico.

Ciertas influencias culturales derivadas del lenguaje.

- Una amalgama de ideas aparentemente coherentes.

El uso que dan los medios de comunicación a algunos términos científicos relacionados con el modelo teórico de la evolución biológica.

Sobre el uso de reglas de simplificación para entender las causas de procesos complejos, Grau y De Manuel (2002) argumentan que muchos de los procesos científicos que resultan complejos para los alumnos, se resuelven aplicando reglas de simplificación para el modelo teórico de la evolución biológica, “lo que conlleva a la incorporación de significados equívocos” (p.57).

El pensamiento antropocéntrico que se enuncia como obstáculo para el aprendizaje del modelo teórico de la evolución biológica, se refiere a cuando el alumnado atribuye propiedades propias de los humanos a otros seres vivos -y cosas-, el enunciar que la evolución se basa en una respuesta consciente de los organismos a las condiciones del medio que conduce a un cambio morfológico y/o anatómico que transmiten a sus descendientes, es una clara muestra.

La influencia cultural del lenguaje y los medios de comunicación masiva atribuyen significados contradictorios y opuestos a los términos relacionados con la evolución

biológica, y es en ese contexto donde se forman las concepciones alternativas que manifiesta el alumnado.

El segundo elemento de tensión, que consideramos prudente explicitar con mayor profundidad es el debate respecto a enseñar o no evolución biológica en la instrucción formal y básica, desde donde se perciben dos determinantes principales:

1. ***El grado de complejidad:*** investigadores que por el grado de complejidad del modelo teórico de la evolución biológica no recomiendan su enseñanza en alumnado menor a 16 años (Shayer y Adey, 1984; Paz, 1999). En contraposición, investigadores como Deadman y Kelly (1978) recomiendan su enseñanza debido a que los efectos de las influencias extraescolares en la formación de las concepciones alternativas -desde edades tempranas-, alejan a los alumnos del modelo teórico de evolución más aceptado. Otros como Izquierdo (2002) recomiendan introducir paulatinamente conceptos que forman parte del modelo de evolución biológica, tendiendo a complejizarlo con el avance del alumnado en la escuela.

2. ***Las implicaciones sociales:*** investigadores que por las implicaciones políticas o teológicas que supone el modelo teórico de la evolución, recomiendan (Sussane y Rebato, 2006; Ruiz, 2011) la enseñanza de la evolución sobre teorías como el creacionismo debido a que ambas pertenecen a contextos teóricos diferentes. Soto-Sonera (2009) en relación con lo anterior, corrobora el fuerte impacto de la postura teológica del profesorado al elegir qué y cómo enseñar evolución biológica en el aula.

A manera de resumen, al revisar la literatura encontramos grandes aportaciones de las investigaciones previas sobre la enseñanza de evolución biológica, y también que la enseñanza eficaz de este modelo teórico es un asunto sin resolver, por ello en la presente tesis lo abordaremos.

1.2 ¿Cómo piensan los alumnos sobre los fenómenos de la naturaleza que la ciencia explica?: El fenómeno de la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo

La segunda pregunta de investigación del ámbito de conocimiento de la educación en ciencias en la que nos interesamos en este documento es ¿cómo piensan los alumnos sobre los fenómenos de la naturaleza que la ciencia explica?, interrogante que el campo intenta contestar con las aportaciones que dan disciplinas como la psicología y la epistemología, que sugieren voltear la mirada hacia los alumnos. Cuando la educación en ciencias intenta conocer cómo piensan los alumnos, se inaugura una de las líneas de investigación más fructífera del campo: la referida a las ideas previas. Cabe resaltar que al tomar en cuenta a las ideas previas en la enseñanza de ciencias, el ámbito declara como uno de sus principios un anclaje teórico en el enfoque epistemológico (con implicaciones psicológicas) del constructivismo.

El supuesto principal del enfoque constructivista consiste en que “el individuo es una construcción propia que se va produciendo como resultado de sus disposiciones internas y su medioambiente” (Chadwick, 2001:112), lo que implica que el conocimiento no es una copia de la realidad sino una construcción activa que hacen las personas. Para realizar esta construcción el sujeto debe enlazar, extender, restaurar e interpretar desde los recursos de su experiencia y la información que recibe del medio que le rodea (Carretero, 1994).

Entre los recursos de la experiencia con los que se construyen aprendizajes se encuentran las ideas previas (la intención del presente trabajo no es introducirse en otros recursos de la experiencias como son: creencias previas o conocimiento previo), con las que el sujeto relaciona, organiza y extrapola los significados de su realidad o de una parcela de esa realidad, que son los fenómenos de la naturaleza. Por esto, la educación en ciencias ha reconocido la importancia de considerar a las concepciones alternativas como punto de partida para la construcción de aprendizaje en ciencias.

En este sentido, indagar sobre las explicaciones que elaboran los individuos en su realidad de los fenómenos naturales fue una de las principales aportaciones de Rosalind Driver *et al.* (1989) al campo de la educación en ciencias, inaugurando un programa de investigación referido a las ideas previas; donde afirma que “los sujetos interiorizan su experiencia de una forma propia...: construyendo sus propios significados” (p.21).

A estas ideas se les han denominado ‘concepciones alternativas’, ‘errores conceptuales’, ‘preconcepciones’, ‘ciencia de los niños’, ‘marcos alternativos’, ‘ideas previas’, etc. (Cubero,1994); dependiendo del enfoque en el que se encuentre el investigador que estudia las representaciones de los sujetos. De aquí en adelante, nos referiremos a ellas como ‘concepciones alternativas’ en acuerdo con una propuesta de Wandersee, Mintzes y Novak (1994) para unificar el concepto de las representaciones con las que llegan los alumnos al aula.

Además de que las concepciones alternativas permiten a los niños explicar su realidad, éstas influyen en la manera en la que reciben información (Driver *et al.*, 1989). Por ejemplo, cuando un maestro inicia el modelo teórico de evolución en el aula, los alumnos ya cuentan con una serie de ideas al respecto pues en su vida cotidiana han tenido la necesidad de elaborar una explicación de ese proceso, por ejemplo al observar las variaciones que hay en una camada de gatos, el tamaño y la probable funcionalidad del apéndice en el cuerpo humano o lo que le sucede a sus músculos cuando se ejercitan.

A partir de la toma de conciencia sobre la existencia de las concepciones alternativas en los sujetos iniciada por Driver, la educación en ciencias ha generado un varias investigaciones (Duit, 1994; Furió, 2007), consolidando un campo de indagación en torno a las concepciones alternativas. Actualmente la inclinación y las propuestas se dirigen al ¿cómo hacer que los sujetos transiten de ellas a un conocimiento más cercano a la ciencia experta?. Este tránsito, de una concepción alternativa a una explicación más cercana a la propuesta por la ciencia, está relacionado directamente

con el actuar del docente en ciencias, ya que es en el aula donde convergen los distintos factores de enseñanza y de aprendizaje, que hacen posible esta marcha hacia la construcción de conocimientos cercanos a los de la ciencia experta.

En la vida escolar los profesores evidenciamos cómo los alumnos llegan a las aulas con una serie de ideas respecto de los fenómenos que se intentan enseñar, Furió *et al.* (2007) plantea que estas concepciones alternativas “están ampliamente representadas en las diferentes áreas científicas” (p.48), identificando algunos ejemplos en biología encontramos: la asociación de respiración con la presencia de pulmones, la deducción de que el ser humano representa la culminación de un proceso evolutivo que nos llevó a la perfección, la negación de aceptar como seres vivos aquellos organismos que no presentan aspectos humanoides, la relación de buena nutrición con sobrepeso, etcétera.

Driver (1986: 20) afirma que “los niños crean estas ideas e interpretaciones a partir de las experiencias cotidianas en todos los aspectos de su vida” mientras juegan, escuchan conversaciones, en contacto con los medios de comunicación masiva, etcétera. Lo que implica que es en el medio social donde se da forma a estas concepciones que difieren de las escolarizadas; pero que son fácilmente apropiadas por los sujetos al interiorizar sus experiencias “construyendo así sus propios significados” (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989: 21).

De tal forma que para cada alumno la selección natural ya significa algo, tal como sucede con el movimiento y la energía antes de entrar al proceso de instrucción formal; aunque estos significados no sean similares con los modelos explicativos de ciencia que enseñamos en la escuela “la necesidad de coherencia y los criterios para la misma, tal y como los perciben los estudiantes, no son los mismos que de los científicos: ya que el niño no dispone de un modelo único que incluya el conjunto de fenómenos que el científico considera equivalentes” (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989: 22).

Las concepciones alternativas de los sujetos se basan en las características observables de las situaciones cotidianas, y le dan sentido a su comportamiento en el mundo. También le dan sentido a sus experiencias y le permiten resolver las contingencias a las que se enfrentan. Aunque los alumnos presentan un enfoque limitado, pues consideran únicamente aspectos que han percibido en situaciones particulares, “centrando su atención sobre elementos sobresalientes de determinadas características especiales” (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989: 29).

Ahora bien, aunque adentrarnos a las concepciones alternativas de los alumnos nos permitan acercarnos a saber cómo piensan respecto a los fenómenos de la naturaleza, el posicionarnos -como lo hemos declarado al principio de este documento- en el enfoque teórico de la modelización supone más que una revisión de las concepciones alternativas. La modelización plantea que los sujetos en su intento por explicarse los fenómenos de la naturaleza construyen modelos explicativos (Sanmartí, 2008) -a los que llamaremos cognitivos, porque se originan de los procesos de la mente-, estos modelos son generados al enlazar, jerarquizar, relacionar y condicionar conjuntos de conceptos, analogías y ejemplos de manera organizada, al respecto Gómez (2006) argumenta que “actualmente se acepta que ellos y ellas -niños y niñas- tienen sus propios modelos explicativos construidos al margen de la escuela” (p. 145). Para efectos del presente trabajo, nos referiremos a los modelos explicativos de los alumnos como modelos cognitivos (López y Mota, 2011).

El acceso a los modelos cognitivos de los alumnos es un tanto más complejo que conocer sus concepciones alternativas, ya que estas sólo son un reflejo del modelo en conjunto pero no el modelo en sí mismo, para conocer el modelo cognitivo es necesario que el investigador lo infiera a partir de una serie de elementos entre los que destacan las concepciones alternativas y el saber con qué procesos y analogías relaciona el fenómeno en cuestión.

Para este trabajo -como hemos expuesto en algunos apartados anteriores-, el fenómeno de referencia a modelizar es el de la variedad de los seres vivos en lapsos

prologados de tiempo, el modelo teórico de la ciencia que explica este fenómeno -entre otros- es la evolución biológica por ello y con la intención de inferir el modelo cognitivo que los alumnos utilicen para explicarse este proceso, es que realizamos una revisión de la literatura relacionada con las concepciones alternativas de los alumnos sobre la evolución biológica en el siguiente segmento.

1.2.1 Panorama general de investigaciones sobre las concepciones alternativas respecto a la evolución biológica

El primero en indagar las concepciones alternativas del alumnado sobre evolución biológica fue Lucas (1971) quien identifica concepciones alternas en alumnos de escolaridad secundaria encontrando cierta similitud entre ellas y las ideas que propone en 1809 el naturalista francés Jean Baptiste Lamarck⁵. Tal similitud se manifiesta en la investigación de Lucas (1971) y se encuentra en estudiantes de distintos contextos del mundo a partir de 1971 casi hasta nuestros días -Maciel (2009) es la última revisión de concepciones alternativas consultada sobre evolución biológica que reporta la misma similitud-, en la tabla 2 se muestran los nombres de los investigadores y países donde se replicaron los estudios y resultados de Lucas donde se encuentra la misma similitud.

Tabla 2. Investigadores que replicaron el estudio de Lucas (1971)

Autor/ año	País	Nivel escolar	Objetivo de investigación y conclusión.
Lucas (1971)	Estados Unidos	Universitarios	Identificar ideas previas sobre evolución biológica.
Jungwirt (1975)	Israel	Secundaria, Bachillerato	
Brumbi (1980)	Inglaterra	Bachillerato	Encuentran similitud entre ideas de alumnado e ideas lamarckistas.
Kinnear (1983) y Martín (1983)	Australia	Secundaria, bachillerato.	
Hallden (1988)	Suecia	Secundaria, bachillerato.	
Aldabalejo y Lucas (1988)	Estados Unidos	Secundaria, universitarios.	

A partir de la indagación iniciada por Lucas, han sido varios los investigadores del campo de la educación en ciencias interesados en conocer las concepciones

⁵ Autor de la primera teoría coherente sobre evolución biológica que se expondrá en el capítulo 3 apartado 3.2.2.

alternativas respecto a la evolución biológica, entre los que encontramos a quienes se han centrado en identificar las concepciones alternativas sobre evolución biológica en estudiantes universitarios de áreas de ciencias y futuros profesores (Gil, 1983; Gil y Carrascosa, 1985; Jiménez y Fernández, 1989; Jiménez, 1991; Millán *et al.*, 1997; Sánchez, 2000; Hernández, 2002; Rico Galeana, 2004; Maciel, 2003; 2009) y pocos que se han inclinado en investigar a escolares de educación básica (Grau, 1989; Hernández, 2002; Rico Galeana, 2004).

Además de reportar las concepciones alternativa identificadas se encontraron características entre ellas, tales como: la similitud entre las concepciones alternativas y algunas ideas del lamarckismo -tomando en cuenta las ideas de manera simplificada- es debida al método de observación utilizado tanto por los alumnos como por Lamarck: la observación inductiva (Gil y Carrascosa, 1985); los alumnos tienden a confundir términos como adaptación y evolución con las interpretaciones que hacen fuentes sociales distintas a las científicas en el aula, la similitud se encontró en alumnado aun proviniendo de contextos sociales y geográficos distintos (Jiménez y Fernández, 1989; Jiménez, 1991) y que las concepciones alternativas están fuertemente relacionadas con causalidad y sentido común (Hernández, 2002; Rico Galeana, 2004; Maciel, 2003; 2009).

En la tabla 3 se encuentra un resumen sobre las investigaciones antes reportadas resaltando elementos como el país de origen, nivel escolar, muestra estudiada y objetivo de investigación con la finalidad de brindar una visión general de los reportes consultados.

Tabla 3. Resumen de las investigaciones relacionadas con las concepciones alternativas del alumnado sobre la evolución biológica.

Autor/ año	País	Nivel escolar	Muestra	Objetivo de investigación
Lucas (1971), Jungwirt (1975), Brumbi (1980) Kinnear (1983) y Martín (1983) Hallden (1988)	Estados Unidos Israel Inglaterra Australia Suecia	Medio Superior	Universitarios Bachillerato	Identificar concepciones alternativas sobre evolución biológica.
Gil (1983), Gil y Carrascosa (1985)	España	Básico Superior	Secundaria, universitarios, futuros profesores de ciencia	Identificar concepciones alternativas, establecer el porque de la similitud con el lamarckismo.
Aldabalejo y Lucas (1988)	Estados Unidos	Superior	Secundaria, universitarios.	Estudiar las características del pensamiento de los alumnos sobre evolución biológica.
Grau (1989)	España	Básico	Secundaria	Identificar concepciones alternativas sobre evolución biológica.
Jiménez y Fernández (1989)	España	Superior	Universitarios de ciencias biológicas	Indagar las concepciones alternativas sobre evolución biológica.
Jiménez (1991)	España	Superior	Futuros profesores de ciencias. Universitarios	Conocer las concepciones alternativas.
Millán <i>et al.</i> (1997)	México	Superior	Universitarios biología marina	Indagar sobre las concepciones alternativas respecto a la evolución biológica.
Sánchez (2000) Hernández, (2002) Maciel (2009)	México	Básico Medio Superior	Secundaria, Bachillerato, Universitarios y Normalistas	Indagar sobre las concepciones alternativas respecto a la evolución con un instrumento propio.

En la síntesis que ofrece la tabla 3 se muestra que la indagación sobre las concepciones alternativas sobre evolución ha sido una ocupación a la que se han dado investigadores de varios países alrededor del mundo. El nivel escolar donde se ha realizado la mayoría de las investigaciones ha sido a nivel superior, lo que implica que existe una oportunidad de investigación a niveles de instrucción iniciales. El objetivo general de investigación en estos reportes ha sido indagar las concepciones alternativas, no obstante muestran algunos matices particulares como el explicar las características de estas concepciones y su naturaleza. A continuación revisaremos las concepciones alternativas que han sido fruto de las investigaciones antes citadas para después inferir un modelo explicativo de la evolución biológica a partir de los reportes.

1.2.2 ¿Cuáles son las concepciones alternativas de los estudiantes sobre evolución biológica?

Los reportes del campo de investigación de educación en ciencia antes señalados y la base de datos en la página de internet: <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/>⁶ donde se realizó la revisión, nos permiten conocer algunas concepciones alternativas sobre evolución biológica y por tanto plantear lo siguiente.

Una de las características que manifiestan algunas de las concepciones alternativas es que muestran similitud con ideas presentes en algún momento de la historia de las ciencias, “a menudo aparecen algunas características comunes entre la idea empleada por los alumnos y su contrapartida histórica” (Driver, Guesne y Tiberghien, 1996: 299). En este caso se encuentran las concepciones alternativas sobre el concepto de evolución biológica.

Desde finales del siglo pasado se encuentra documentada en una serie de investigaciones (Lucas, 1971, 1989; Jugwirt, 1975; Hallden, 1988; Kinnear, 1983; Martin, 1983; Gené, 1991; Jimenez, 1991, 2002; Grau y Manuel, 2002) la similitud que existe entre las concepciones alternativas y las ideas expuestas en 1809 por un naturalista francés llamado Jean Baptiste Lamarck, en su obra ‘Filosofía Zoológica’ postula que lo que él nombró sus dos leyes, que serán citadas con fines comparativos a continuación:

1.- Ley del uso y desuso, que en sus propias palabras dice:

“En todo animal que no ha traspasado el término de su desarrollo, el uso frecuente y sostenido de un órgano cualquiera lo fortifica poco a poco, dándole una potencia proporcionada a la duración de este uso, mientras que el desuso constante de tal órgano le debilita y hasta le hace desaparecer” (Lamarck, 1809: 175).

2.- Herencia de los caracteres adquiridos donde afirma:

⁶ Que concretiza uno de los mayores esfuerzos por reunir las concepciones alternativas del alumnado sobre los principales ejes temáticos de las ciencias naturales.

“Todo lo que la naturaleza hizo adquirir o perder a los individuos por la influencia de las circunstancias en que su raza se ha encontrado colocada durante largo tiempo, y consecuentemente por la influencia del empleo predominante de tal órgano o por la de su desuso, la naturaleza lo conserva por la generación de nuevos individuos, con tal que los cambios adquiridos sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos” (Lamarck, 1809:175).

Ambos argumentos vistos de manera simplificada y aislados del resto de la teoría de Lamarck, mantienen ciertas similitudes con la mayoría de las concepciones alternativas de los alumnos sobre la evolución biológica encontradas en la revisión. Como ejemplo consideran que la idea del uso y desuso expuesta por Lamarck se manifiesta en oraciones como las que se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Concepciones alternativas de estudiantes de educación básica y bachillerato que concuerdan con el primer argumento de Lamarck “uso y desuso”.

“los patos desde pequeños están en contacto con el agua, el movimiento continuo de sus patas hace que su membrana vaya siendo cada vez más fuerte. Si no se encontraran en contacto con el agua, esta membrana desaparecería ya que no tendría ninguna utilidad”
“El sol brilla más caliente en África, por lo que la piel de la gente es mucho más oscura, así cuando un niño nace su piel es un poco más oscura que la normal”
“Los chitas se mantuvieron usando sus músculos y así ellos se volvieron cada vez más rápidos”
“Si los peces no utilizaron sus ojos estos se perdieron gradualmente”
“El mayor uso de las piernas por el pato doméstico y la falta de uso de los huesos de las alas podrían explicar el hecho de que los patos salvajes son capaces de volar muy bien y tienen huesos de las alas más pesados y huesos de las piernas más ligeros comparados con los patos domésticos, que son incapaces de volar.”
“Niños nacidos en África pero los padres no, tendrán un poco más oscura la piel, pero sólo por causa de la temperatura”.
“Algunas aves migran hacia el sur debido a su necesidad de permanecer calientes, para protegerse del invierno.”
“Los órganos se desarrollan con el uso”.
“Debido a que la vida de las salamandras transcurre en una cueva, el vivir en éstas es como vivir en cuartos oscuros, en donde no necesitas los ojos para moverte de lugar a lugar.”
“Las primeras salamandras probablemente vivían en el sol. Luego las salamandras comenzaron a vivir en cuevas y tuvieron bebés que no usaban sus ojos. Eventualmente al paso de muchas generaciones las salamandras no usaron los ojos y estos cesaron su función”.

Al revisar estas explicaciones y compararlas con la primera `ley` lamarckista es indiscutible su similitud. El primero en constatar esta similitud fue Lucas (1971), quien también afirmó que las concepciones alternativas de los estudiantes no son fáciles de cambiar, entre otras razones porque les resultan adecuadas para interpretar algunas partes de la realidad. En el mismo sentido, Gené (1991) reporta que las coincidencias entre las ideas lamarckistas y las concepciones alternativas de los estudiantes no dependen de contextos geográficos, al encontrar estudios que comprueban tal similitud en estudiantes de varios países alejados entre sí⁷.

De manera parecida, se presenta similitud entre el segundo enunciado de Lamarck y las concepciones alternativas revisadas (ver tabla 5). La pregunta sería ¿Cuál es la causa de la correspondencia entre las afirmaciones que hizo un naturalista francés en 1809 y las concepciones alternativas de escolares reportadas desde hace poco más de cuatro décadas?

Tabla 5. Concepciones alternativas de estudiantes de educación básica y bachillerato que coinciden con el segundo argumento de Lamarck “La herencia de los caracteres adquiridos”

“Un animal con nariz larga trato de atrapar cosas con su nariz esto hizo la nariz larga, como Pinocho. Luego sus hijos tuvieron la nariz larga de su padre.”
“Algunos organismos migran debido a un instinto que heredaron de sus padres.”
“La capacidad para construir un nido de los pájaros, la heredaron de sus ancestros dinosaurio que siempre tuvieron esa característica.”
“Los patos pequeños heredan de sus padres esta membrana.”
“Algunos bebés judíos nacieron en tal estado físico que la circuncisión no fue necesaria la posible explicación a este hecho, es que habiendo quitado el ADN de la parte (Circuncisión) por muchas generaciones, desapareció”

Podríamos acercarnos a la respuesta al recordar lo que Driver, Guesne y Tiberghien (1989) comentan en el capítulo X de su libro sobre `Ideas científicas en la infancia y la adolescencia`, que una de las características generales de las concepciones alternativas de los niños es que basan su razonamiento en rasgos observables de la

⁷ Ver tabla 3. Resumen de las investigaciones relacionadas con las concepciones alternativas del alumnado sobre la evolución biológica

situación .Por lo tanto sus explicaciones sobre el proceso evolutivo tiende a ser de tipo inductivo (Gil y Carrascosa,1985); como las que Lamarck expuso las cuales fueron derivadas de la manera en que se construía la ciencia en su época.

Lo anterior, nos acerca al supuesto de que los alumnos construyen esas concepciones alternativas por el modo en el que se acercan a la naturaleza, es decir, la interpretación que realizan de lo que observan, de ahí que manifiesten el mismo tipo de argumentos; es decir, con lógica de sentido común por lo que lograr que rechacen estos argumentos supondría que rechacen su propio sentido común.

El enunciar en este documento solamente las ideas que coinciden tácitamente con los planteamientos lamarckista podría parecer intencionado e incompleto; por ello, se elaboraron las siguientes categorías para clasificar el resto de las concepciones alternativas sobre evolución biológica encontradas en el sitio web <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/>, que no muestran tan clara similitud con el lamarkismo, pero sí consistencia y poder explicativo para el alumnado.

Las categorías encontradas se deciden a partir de la lectura de las propias concepciones alternativas y de algunas sugerencias de los distintos autores revisados que serán citados en su momento, y son: categorías de orden teórico (naturaleza del proceso evolutivo y finalidad) y categorías de orden social (el uso del lenguaje dentro de la teoría evolutiva y trascendencia de algunas ideas).

Categorías de orden teórico:

a.- Naturaleza del proceso evolutivo:

- *Considerar a la evolución como un proceso que ocurre en los individuos:* Los estudiantes tienden a elaborar explicaciones a partir sólo de lo que pueden ver, ya que por su edad y la longevidad humana difícilmente podrán ver cambios en las poblaciones como resultado de la evolución a no ser en un documental; lo que explica que consideren que los cambios se presentan en los organismos: “Hubo animales que existieron en el principio de la Tierra que no son los que existen ahora, ya que no

podieron cambiar lo suficientemente rápido para adaptarse al ambiente cambiante”, “La adaptación es un proceso individual que ocurre durante la vida del organismo. Todos los individuos se deben ajustar a las condiciones existentes del medio, y al cambiar los ambientes, ellos cambian también. La evolución sería simplemente una consecuencia de este proceso de ajuste. Cuando un animal busca refugio en invierno está tratando de estar ‘adaptado’ al clima.”

- *Evolución como un proceso dirigido por un poder supremo mezclando una teoría científica con una teológica:* Algunas concepciones alternativas reportadas a nivel bachillerato introducen términos teológicos a partir de los cuales orientan el proceso evolutivo, identificado en frases como: “La fuerza que lleva al mundo vivo hacia una mayor perfección es alguna clase de fuerza no física guiadora de la vida que no podemos medir pero que realmente existe” y “Todos los eventos en la naturaleza ocurren como parte de un plan maestro predeterminado”.

b.- Finalidad del proceso evolutivo:

- *Concebir a la evolución como un proceso que lleva a la perfección:* Los estudiantes consideran que la evolución es un proceso dirigido al perfeccionamiento y que la cumbre de esa perfección está representada por el ser humano, explicitado en afirmaciones como “A través de los años, cada siguiente generación ha mejorado su apariencia física hasta ser perfecta”, “La evolución muestra un claro progreso hacia los humanos” , “El mundo vivo está siendo dirigido hacia una mayor perfección” y “La evolución guía hacia organismos perfectos, que son más complejos”.
- *Entender la evolución como un proceso finalista:* Es muy persistente en los estudiantes considerar la evolución como un proceso que ya finalizó (Jiménez, 1991; Grau y Manuel, 2002; De la Gándara y Gil, 2002), por lo tanto creen que su estudio es de tipo descriptivo, evidenciado en frases como: “La evolución es un proceso que ocurrió en el pasado pero ya no está en acción” y “La evolución se detuvo en el hombre”.

Categorías de orden social:

a. El lenguaje en la teoría evolutiva:

- *El uso indistinto de conceptos relacionados con evolución:* Los niños equiparán conceptos como `adaptación` con `acostumbrarse`, `evolución` con `innovación`, por ejemplo en concepciones como: “Cambios individuales en los organismos como respuesta a condiciones del medio. Expresada en frases como: "se acostumbran" y “Al paso de las generaciones la piel humana de la descendencia se oscurecerá cada vez más debido a la adaptación”.
- *La capacidad de coexistencia de explicaciones provenientes de distintos marcos teóricos en un mismo discurso:* Jiménez (2002) argumenta que es común encontrar la coexistencia de ideas darwinistas de supervivencia diferencial con las ideas lamarckistas que sostienen que los organismos se `adaptan` -en términos de acostumbran-; mostrando que para los estudiantes estas ideas son compatibles en frases como: “Algunas aves cambian de color para no ser cazadas”, “Las plumas de algunas aves se vuelven blancas porque la nieve cae sobre ellas, y así ellas mantienen la nieve sobre sus cuerpos.” “Las orugas tendrían que estar conscientes de que su medio esta cambiando y entonces tratarían de cambiar cambiando el pigmento de su piel, tendrían que hacerse más claras”.

De la Gándara y Gil (2002) indican que la coexistencia entre las tesis lamarckistas y darwinistas se puede deber a la falta claridad en las ideas de ambas teorías que muestran los docentes, libros de texto e inclusive especialistas, sobre todo en lo referente a cómo opera la selección natural.

b. Trascendencia de algunas ideas:

- *Se mantienen algunas ideas fijistas en las concepciones alternativas del alumnado:* A pesar de que el fijismo dentro de la historia de la biología representa una postura derrumbada, algunos estudiantes aun conservan ideas fijistas al explicar la evolución, también mezclan ideas evolutivas con teológicas y fijistas evidenciadas en frases como: “Formas terrestres como el Gran Cañón fueron creadas por Dios y no han

cambiado desde entonces”, “El color de piel de una persona depende de si Dios favoreció o castigó a sus ancestros” y “los organismos no han cambiado desde su creación por un ser supremo”.

- *Persisten incluso después de la instrucción:* Al revisar las concepciones alternativas se encuentra que varias de las ideas se mantienen en los distintos grados escolares que se revisaron a sabiendas que desde la primaria el tema evolución desde su perspectiva darwinista es abordado en la escuela, lo que da cuenta de que “las ideas previas de las y los estudiantes no son fáciles de cambiar ... persisten incluso entre personas con estudios de ciencia” (Jiménez, 1991: 248).

Establecer las categorías que emanan de los criterios teóricos (naturaleza y finalidad del proceso evolutivo) y de los criterios de orden social (el lenguaje y trascendencia) permite reconocer las características de las concepciones alternativas de los alumnos sobre el modelo teórico de la evolución biológica, y a la vez brinda luz para caracterizar las concepciones de los estudiantes sobre un proceso tan complejo como el evolutivo.

Las categorías anteriormente explicitados además serán aspectos a considerar cuando se exploren las concepciones alternativas identificadas en la presente investigación.

1.3 Posible incongruencia entre las concepciones sobre evolución biológica encontradas y lo planteado en el currículo de ciencias

Al conocer las concepciones alternativas sobre evolución biológica, la duda emergente es si existe congruencia y similitud entre ellas y lo estipulado por el programa de Ciencia 1 (2011) -referido a biología- en el currículo mexicano. Con la intención de comparar ambos conjuntos de ideas se establecieron elementos centrales del modelo teórico de la evolución biológica⁸ desde la ciencia experta: variabilidad, cambio, adaptación, descendencia, sobrevivencia y selección natural, para después comparar los argumentos que se pueden referir desde cada marco -el programa de Ciencias 1 y las concepciones alternativas-; continuación se agrupa tales argumentos en la tabla 6

⁸ Basado en un ejercicio de Jiménez (2002).

para visualizar la similitud y congruencia que puede haber entre las concepciones alternativas y lo que dice la teoría de la evolución en la escuela.

Tabla 6. Comparativo entre las concepciones alternativas reportadas y el modelo teórico de la evolución en la escuela.

<i>Elementos centrales del modelo teórico de evolución biológico</i>	<i>Conjunto de enunciados que forman el modelo teórico de evolución biológica en el programa de Ciencias 1</i>	<i>Conjunto de afirmaciones que se deducen de las concepciones alternativas reportadas en la web (http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/)</i>
<i>Variabilidad</i>	<i>Hay diferencias heredadas entre los individuos de una misma especie, no son idénticos.</i>	<i>Los individuos de una especie adquieren todos o pierden todos los rasgos a la vez.</i>
<i>Descendencia</i>	<i>En la mayoría de las especies nacen mucho más descendientes de los que pueden sobrevivir.</i>	<i>Los descendientes de los seres vivos sobreviven todos o casi todos.</i>
<i>Sobrevivencia</i>	<i>Los individuos que presentan cierto rasgo (mejor adaptados) aportan más descendientes a la siguiente generación.</i>	<i>Todos los individuos están más "adaptados" en cada generación y se acostumbran al medio.</i>
<i>Cambio</i>	<i>Cambia la población, aumentando o disminuyendo la proporción de individuos con uno u otro rasgo (portadores de uno u otro alelo).</i>	<i>Cambian los individuos adquiriendo o perdiendo un rasgo dado (que es heredado por la descendencia).</i>
<i>Selección natural</i>	<i>Las presiones del medio y la genética selecciona a los individuos con rasgos que les permiten sobrevivir.</i>	<i>Los organismos cambian según las exigencias del medio.</i>
<i>Adaptación</i>	<i>Individuos con rasgos que les favorecen en el medio en el que viven se adaptan.</i>	<i>Se adaptan los individuos que quieren (adaptación- acostumbrarse).</i>

La primera columna de la Tabla 6 muestra los ejes centrales de la teoría evolutiva, la segunda columna enuncia como responde la teoría de la evolución en la escuela a cada uno de los ejes y por último la tercera columna plasma lo que inferimos en las concepciones alternativas respecto a cada uno de los ejes temáticos.

Para fines comparativos, se leerá por fila, partiendo del eje central del tema, después se lee lo que la teoría de evolución argumenta al respecto y por último se lee la tercera

columna que concepción alternativa se encontró al respecto. De manera que se compara lo que dice cada uno (modeo teórico- concepción alternativa) para conocer si existe congruencia y similitud. Por ejemplo:

<i>Sobrevivencia</i>	<i>Los individuos que presentan cierto rasgo (mejor adaptados) aportan más descendientes a la siguiente generación.</i>	<i>Todos los individuos están más "adaptados" en cada generación y se acostumbran al medio.</i>
----------------------	---	---

Después de la construcción de este cuadro se evidencia la incompatibilidad existente entre las concepciones alternativas de los alumnos y el modelo teórico de la evolución trabajado en la escuela. Inclusive desde la propia idea del concepto evolución:

<i>Evolución</i>	<i>Teoría evolutiva Acumulación de cambios que provocan diferencia entre grupos de organismo, en un considerable lapso de tiempo.</i>	<i>Concepciones alternativas Cambios en los organismos que los conducen al perfeccionamiento.</i>
------------------	---	---

Mientras los estudiantes explicitan la evolución biológica como un proceso finalistas que ocurre en los individuos y que conduce al perfeccionamiento, la ciencia lo enuncia como una serie de cambios en las poblaciones que se desarrollaron a lo largo del tiempo y que siguen sucediendo.

En el caso del concepto de la variabilidad, los alumnos la pueden observar por ejemplo en una camada de gatos, pero difícilmente la asocian al proceso evolutivo. Por lo que es común encontrar que los alumnos piensen que si se usa o deja de usar determinado órgano éste se fortalecerá o desaparecerá transmitiendo esta nueva cualidad a la descendencia, es decir, se adquirió un carácter y se transmite, en lugar de pensar que los seres vivos presentan variaciones y que algunas de ellas favorecen en medios determinados.

Para los alumnos el proceso de reproducción más cercano a su vida cotidiana es el propio -el de la especie *homo sapiens sapiens*-, por lo que observan que se mantienen toda o la mayoría de la descendencia; frente a la idea del modelo teórico de la evolución sobre la sobrevivencia a condiciones adversas a las que se enfrentan todos

organismos vivos, considerando las diferencias entre la tasa de reproducción y la de sobrevivencia.

Otra de las situaciones que muestran gran diferencia entre las concepciones alternativas y el modelo evolutivo es la idea que mantienen los niños de que los cambios se presentan en los individuos y esto origina evolución, mientras que la ciencia afirma que los cambios producto de la evolución son visibles solo en las poblaciones. Del mismo modo, las diferencias entre las concepciones y el modelo teórico de la evolución se mantienen al comparar el origen de los cambios en los individuos-poblaciones, ya que mientras los alumnos atribuyen a los organismos el poder de desear y provocar cambios en su cuerpo en función de las necesidades que les imponga el medio, la ciencia experta afirma que sólo los que tengan ciertos rasgos favorecedores sobrevivirán a las contingencias del medio.

Por último, el hecho de que los alumnos equiparen el concepto `adaptación` con `acostumbrarse` se relaciona con la visión antropocéntrica que mantienen los alumnos, desde la que los organismos son causantes de sus cambios por desearlos, por lo tanto se acostumbran; es decir, se `adaptan` es un concepto con significado diferente desde la lógica del alumnado a la aportada por el modelo científico.

Estas incongruencias resultan comprensibles cuando recordamos que los estudiantes elaboran la mayoría de sus ideas partiendo de lo que evidencian y de su sentido común, ya que “están guiadas por la percepción y tienden a ignorar lo que no es directamente observable” (Prieto y Blanco, 1997: 38). De manera que los estudiantes no pueden observar fenómenos como los que explica el modelo teórico de la evolución, en acción debido a que su forma de acercarse a la naturaleza es inductiva y limitada en el tiempo.

1.4 Problemática de investigación

Las evidencias presentadas sugieren que el alumnado presenta un modelo cognitivo -inferido de sus concepciones alternativas- alejado de las ideas expuestas en el modelo teórico de la evolución biológica más aceptada en nuestros días, la síntesis evolutiva. De hecho, los alumnos tienen y mantienen, aun después de la instrucción, rasgos muy similares -a una visión simple- de los argumentos lamarckistas, lo que denota un problema escolar en la que el actuar docente ocupa un papel central.

La falta de congruencia -entre el modelo cognitivo inferido de- las concepciones alternativas y el modelo teórico de evolución biológica ha sido argumentada desde distintas investigaciones, marcos teóricos y contextos socioculturales; lo que indica es una problemática transversal que debe ser atendida, si se quiere que los estudiantes piensen de acuerdo a los modelos científicos acerca de la evolución biológica.

Si bien, se identificaron reportes que intentan subsanar los obstáculos que presenta la enseñanza y aprendizaje del modelo de evolución biológica a partir de estrategias didácticas, estos muestran ciertas luces hacia donde dirigir las propuestas, pero aceptan que se encuentran lejos de resolver el asunto (Izquierdo, 1999). Lo que muestra un espacio de acción del presente documento, al intentar probar ciertas ideas de la enseñanza de este modelo teórico a partir de un fenómeno de referencia.

Por otro lado, la falta de congruencia entre las concepciones alternativas de los estudiantes y el modelo teórico de evolución biológica es un problema, ya que evidencia la distancia que existe entre cómo piensan los alumnos respecto a fenómenos explicados por la ciencia -en este caso desde el modelo científico de evolución biológica que explica, entre otros, el fenómeno de referencia de esta tesis: la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo- y cómo son explicados por la ciencia; y justo esa distancia entre unos y otros da cuenta del analfabetismo científico en el que se encuentra la mayoría de la población, al menos en lo referente al modelo teórico de la evolución biológica.

Por lo anterior, el buscar incidir en el problema de la falta de congruencia entre las concepciones alternativas de los estudiantes y el modelo teórico de evolución biológica es un asunto que requiere atención. La manera en la que se dedica atención al asunto es por medio de la intervención didáctica anclada en el enfoque teórico de la modelización.

Preguntas de investigación

A partir de la explicitación del problema de investigación elaboramos las siguientes preguntas de investigación que guiaran el presente proyecto y surgen derivadas de la revisión de la literatura y de intereses propios:

1. ¿Cómo lograr que los estudiantes decidan abandonar sus confortables concepciones de sentido común sobre el modelo de la evolución biológica para transitar a un modelo más elaborado y cercano al de la ciencia experta?
2. ¿Cuál es el modelo cognitivo de evolución biológica subyacente en las concepciones alternativas del alumnado en el que se aplicará la estrategia didáctica?
3. ¿En qué medida una estrategia didáctica anclada en la construcción de modelos científicos escolares, será una propuesta viable en el aprendizaje de la evolución biológica?
4. ¿Será pertinente la enseñanza de la evolución biológica en educación secundaria, desde la perspectiva de brindar al alumnado elementos que complejicen sus explicaciones sobre éste fenómeno?

Hipótesis teóricas respecto al problema de investigación

A partir de la revisión de la literatura de investigaciones sobre la enseñanza de la evolución biológica, podemos establecer algunas hipótesis teóricas a indagar en la presente investigación:

1. El modelo cognitivo -inferido de concepciones alternativas encontradas- de los alumnos en buena medida presentarán similitud con las ideas -vistas de manera simplificada- lamarckistas. Además el significado que los alumnos otorgan a términos relacionados con evolución (como adaptación, por ejemplo) será distinto al científico.
2. Una estrategia anclada en la modelización será viable para la enseñanza de la evolución biológica en el aula, entendida como la construcción de un modelo científico de los escolares más cercano al modelo teórico de la ciencia.
3. Los alumnos de educación secundaria podrán construir un modelo científico escolar de evolución biológica al reestructurar su modelo cognitivo inicial por medio de la actividad científica en el aula.

1.5 Por qué de la elección del tema

La revisión de la literatura realizada en los apartados 1.1.1 y 1.1.2 sobre el estado de conocimiento de la enseñanza de la evolución biológica, evidencia la necesidad de trabajos dedicados a proponer metodologías que busquen ciertos alcances en la enseñanza eficaz de la evolución en la escuela, al respecto Jiménez Alexandre (1991) acepta que una enseñanza eficaz en ciencias dista mucho de ser un asunto resuelto e inclusive se cuestiona la posibilidad de que exista una forma correcta de llevarla a cabo.

En este sentido, el presente documento intenta ser una propuesta didáctica viable en la enseñanza de la evolución en la escuela, donde a partir de la consideración de los hallazgos en la literatura sobre el tema se pueda diseñar una estrategia que posibilite

hasta cierto punto el aprendizaje en los sujetos de un tema tan complejo como lo es la evolución biológica.

También, es un hecho la necesidad de propuestas metodológicas con claras orientaciones teóricas en la enseñanza de las ciencias y desde esa perspectiva consideramos justificable el presente trabajo, ya que pretende acercarse un poco a desentrañar algunos de los complejos procesos involucrados en la enseñanza de ciencias.

El por qué de la elección del tema evolutivo como el contenido científico para desarrollar dicha estrategia didáctica se resume en dos argumentos centrales:

Un primer argumento tiene que ver con lo reportado por la investigación en la enseñanza de las ciencias (Jiménez, 1991, 2001, 2002; Grau y Manuel 2002; Géne, 2001, etc.), sobre que los alumnos de nivel secundaria manifiestan explicaciones al fenómeno evolutivo en un nivel intuitivo, aun después de la enseñanza (inclusive la enseñanza universitaria Jiménez, 2002). Por ello, buscar alternativas de enseñanza documentadas -en fundamentos teóricos- y validadas -en la práctica docente-, que muestren ciertos acercamientos al aprendizaje de la ciencia, es una necesidad en el ámbito de la enseñanza en ciencias.

En este sentido, la educación en ciencias ha evidenciado dificultades para la enseñanza y aprendizaje del modelo teórico de la evolución biológica en específico, que al tomarse en cuenta podrían mostrar avances significativos en el planteamiento de estrategias didácticas; lo que es un reto constante para los docentes en ciencias, lo cual me inclina a la selección temática.

El segundo argumento tiene que ver con el tema en sí: la evolución biológica. Ya que desde 1859 cuando Darwin/Wallace publican un artículo donde enuncian los principios de la evolución por selección natural, desfiguran el paisaje científico en biología conocido hasta ese momento; instaurando uno de los principales paradigmas que rigen

la investigación en la ciencia de la vida. Ya Freud se ha referido a ésta como una de las grandes revoluciones científicas (junto a la de Copérnico y a su teoría sobre el subconsciente); ya que ataca la arrogancia humana al colocarnos como descendientes del mundo animal.

Por último, la razón del diseño y prueba de una estrategia didáctica, es el tratar de aportar algunos elementos de reflexión en torno a la enseñanza eficaz de ciencias en cuanto al modelo evolutivo, intentando llenar los huecos provenientes de otras investigaciones -y seguramente inaugurando muchos otros-, y aportar algún tipo de acercamiento hacia la consolidación de una enseñanza en ciencias.

1.5.1 Desde las evaluaciones

La afirmación de que la enseñanza en ciencias naturales se encuentra en crisis es una realidad palpable en cualquier aula de nuestro país, esta situación no se restringe a entornos escolares; ha sido reportada en investigaciones de la enseñanza de las ciencias e inclusive refrendada en informes nacionales (EXACALE, ENLACE, etc.) y en el informe internacional PISA (2006, 2009) que evalúa el aprendizaje de las ciencias.

Este último informe se refiere al Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes auspiciado por la OCDE/UNESCO que tiene impacto en las decisiones educativas de las naciones participantes, y es encargado de evaluar el desempeño académico de miles de estudiantes en 57 países, y que en su versión 2006 dedicó especial atención a las Ciencias. Los resultados de esa evaluación -y su versión más reciente publicada del 2009- han sido determinantes para mantener a la enseñanza de las ciencias en la mira.

El análisis de éstos sigue desalentando el panorama de la educación en ciencias en nuestro país reportando que alrededor del 50% de los alumnos no pasan del nivel uno (PISA, 2006), de los seis niveles que forman parte de la escala de evaluación cualitativa de competencias científicas que se pueden leer en la Tabla 7; el nivel 1 se muestra como el estadio más bajo de la escala, lo que supone que los estudiantes

tendrán un conocimiento muy limitado y solo podrán explicar situaciones muy obvias como se lee en la Tabla 7.

Si bien la responsabilidad de tales resultados es multifactorial y da pie a una tesis en particular -aunque no es un asunto de interés en este momento-, lo que podemos rescatar es la tajante necesidad de poner atención al proceso de enseñanza en ciencias como un elemento que puede impactar en tales resultados. En este sentido, la estrategia didáctica que se plantea, basada en la modelización, intentará que el alumnado con el que se trabaje supere el nivel 1, llegando al nivel 3 que supone competencias como “interpretar y usar conceptos científicos de diferentes disciplinas y aplicarlos en forma directa” (PISA, 2006: 37). Planteando con ello, que la enseñanza en ciencias es entonces uno de los parámetros desde donde podemos impactar en los resultados de evaluaciones nacionales e internacionales.

Tabla 7. Competencias en ciencias para el mundo del futuro. (Pisa,2006; 37)

	Regularmente, qué pueden hacer los estudiantes en cada nivel de la escala de ciencias
6	En el nivel 6 los estudiantes pueden de manera consistente identificar, explicar y aplicar conocimientos científicos y conocimientos sobre las ciencias en una variedad de situaciones de vida compleja. Pueden relacionar diferentes fuentes de información y de explicaciones, y además usar evidencia proveniente de esas fuentes para justificar decisiones. Ellos demuestran en forma clara y consistente pensamiento y razonamiento científico avanzados y demuestran su disposiciones para utilizar su comprensión científica como apoyo a la solución de situaciones científicas y tecnológicas desconocidas. En este nivel, los estudiantes pueden utilizar conocimientos científicos y argumentar para sustentar recomendaciones y decisiones concernientes a situaciones personales, socio-económicas o globales.
5	En el nivel 5 los estudiantes pueden identificar los componentes científicos de muchas situaciones complejas de la vida, aplicar a estas situaciones tanto conceptos científicos como conocimientos sobre la ciencia y además comparar, seleccionar y evaluar evidencia científica apropiada para responder a situaciones de la vida real. En este nivel los estudiantes demuestran habilidades de investigación bien desarrolladas, asocian conocimientos en forma apropiada y hacer aportes críticos a diferentes situaciones. Pueden dar explicaciones basándose en evidencias y argumentar basándose en su análisis crítico.
4	En el nivel 4 los estudiantes pueden trabajar efectivamente con situaciones y eventos que pueden involucrar fenómenos explícitos que les exijan hacer inferencias sobre el papel que juegan en ellas las ciencias y la tecnología. Pueden seleccionar e integrar explicaciones de diferentes disciplinas de las ciencias o de la tecnología o relacionar esas explicaciones directamente de aspectos de situaciones que se presentan en la vida real. En este nivel, los estudiantes pueden reflexionar sobre sus acciones y comunicar decisiones usando conocimiento científico.
3	En el Nivel 3 los estudiantes pueden identificar temas o eventos científicos claramente descritos en una variedad de contextos. Pueden seleccionar hechos y conocimientos para explicar fenómenos y aplicar modelos sencillos o estrategias de investigación. En este nivel, los estudiantes pueden interpretar y usar conceptos científicos de diferentes disciplinas y aplicarlos en forma directa. Pueden desarrollar enunciados breves

	utilizando hechos y tomar decisiones basándose en conocimientos científicos.
2	En el nivel 2 los estudiantes tienen conocimiento científico suficiente para dar explicaciones posibles en contextos que les son familiares o para deducir conclusiones basados en investigaciones sencillas. Están en capacidad de aplicar razonamientos directos y de hacer interpretaciones literales de los resultados de la investigación científica o de la solución tecnológica de problemas.
1	En el nivel 1 los estudiantes tienen un conocimiento científico tan limitado que lo puede aplicar solamente a unas pocas situaciones que les sean familiares. Puede dar explicaciones científicas que son obvias y hacer seguimientos explícitos de evidencias dadas.

1.5.2. Enseñar o no evolución en educación básica: Una discusión pendiente

El debate sobre la pertinencia de la enseñanza de la evolución biológica en escolares menores -reportado en la revisión de la literatura-, refleja una discusión pendiente donde el trabajo que realizaremos en el aula podrá aportar elementos de reflexión a partir de la aplicación de la estrategia didáctica, que permita adoptar alguna postura respecto a esta discusión, ya sea que nos inclinemos a estar de acuerdo en que la complejidad del tema no permite su enseñanza en la educación básica o que se establezca algún pequeño acercamiento hacia la construcción de un modelo de evolución en los alumnos cercano al enunciado por la ciencia experta.

De entrada, declaramos convencimiento del argumento de Izquierdo (2002) que recomienda introducir elementos del modelo de evolución biológica paulatinamente en los escolares e ir complejizando los conceptos según el avance escolar del alumnado

1.6 Propósitos de investigación

El propósito general de este trabajo es proponer y analizar un mecanismo de enseñanza que permita y fomente el tránsito de los alumnos desde sus concepciones alternativas hacia la construcción de un modelo científico escolar de evolución que se acerque más al de la ciencia experta. Esto requiere algunas puntualizaciones:

1. Como punto de referencia se explorarán las concepciones alternativas del alumnado respecto de la evolución biológica, con la finalidad de inferir el modelo cognitivo del alumnado sobre evolución.

2. El mecanismo que fomente el tránsito entre el modelo cognitivo (inferido a partir de las concepciones alternativas) y modelo científico escolar es el diseño, implementación y validación de una estrategia didáctica con claridad en supuestos teóricos y epistemológicos⁹, para su posterior análisis.

De manera general, el propósito del trabajo de tesis es ***diseñar, aplicar y analizar una estrategia didáctica sustentada en la modelización que coadyuve en la transformación del modelo cognitivo inicial de los alumnos de secundaria sobre evolución hacia un modelo científico escolar más cercano al modelo darwinista - que es el aceptado por la ciencia experta-***.

⁹ Los elementos teóricos y epistemológicos que guiarán la estrategia didáctica serán tratados en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 2

EL APRENDIZAJE COMO UNA CONSTRUCCIÓN HUMANA

En el capítulo anterior planteamos el problema de la falta de congruencia y similitud entre las concepciones alternativas del alumnado y los argumentos que manejan las teorías científicas en torno al fenómeno de la evolución. Para dar luces hacia una posible solución a tal falta de congruencia se propone el diseño de una estrategia didáctica con sustento en referentes psicológicos y epistemológicos, provenientes del campo de la educación en ciencias.

2.1 ¿Qué es el constructivismo?

Desde hace varias décadas existe una fuerte corriente en la que se soportan los programas educativos y pedagógicos de más de una decena de países a la que se ha nombrado `boom´ constructivista por el impacto y las implicaciones que tiene en la actualidad.

Los escenarios donde se usa el concepto constructivismo son tan diversos, por lo que es común escucharlo siempre en plural al referirse a `las orientaciones constructivistas´ o `las tendencias constructivistas´ (Cubero, 2005). El por qué de esta situación tal vez se deba a que el término constructivismo se utiliza en marcos teóricos distintos y en tradiciones de investigación diferentes, por lo que no hay un consenso general de lo que es el constructivismo. De ahí que teóricos como Ernest (1995) han mencionado que no se puede hablar de un solo constructivismo sino de varios tipos de constructivismo, los que tienen tanto elementos comunes como dispares. Esta variedad de elementos se encuentran en dos dimensiones teóricas: la epistemología y la psicología.

A continuación concretaremos los argumentos en común que sostienen los distintos tipos de constructivismo desde estas dos dimensiones, con la finalidad de poder caracterizarlo.

2.1.2 El constructivismo desde su dimensión epistemológica

La epistemología intenta explicar y comprender la naturaleza del conocimiento, cómo se genera y cómo cambia (Dushl, 1997), planteándose argumentos sustentados en distintas corrientes epistemológicas (empirismo, racionalismo, etc.). La propuesta de una de esas corrientes, el constructivismo, toma como punto de partida el supuesto de ¿qué es la realidad? sobre ello Watzlawick (1981: 58) afirma que “real es, al fin y al cabo, lo que es denominado real por un número suficientemente grande de hombres”, lo que implica que la realidad esta supeditada a la subjetividad de los sujetos que la construyen (James, 1889). Realidad es entonces una construcción humana (Bateson, 1972); que se genera a partir de la interacción interdependiente de los sujetos con los objetos que existen en su medio y a los que les da existencia, sujeto-objeto se dan sentido uno al otro por medio de la interacción (Schutz, 1995), como apunta López y Mota (2011) “los sujetos interpretan a partir de la experiencia y desarrollan formas -estructurales o conceptuales- para `incorporar´ la realidad externa a su pensamiento” (p.41).

Desde esta perspectiva -el constructivismo- la realidad objetiva, aséptica y pura no existe, ya que la realidad no es más que una construcción humana y social que sucede cuando los sujetos que la construyen interactúan entre ellos, inmersos en un mundo de objetos. Pero esta interacción está plagada de intersubjetividad, ya que se acepta que el centro del constructivismo es “el reconocimiento de la interdependencia entre el observador (sujeto) y el mundo observado (realidad)” (López; 2008: 2).

El conocimiento -todo tipo de conocimiento, desde el de sentido común hasta el científico-, es entonces una construcción que realizan los sujetos, un conjunto de abstracciones propias que le permiten organizar su pensamiento (Schutz, 1995) y dar cuenta de lo que saben de la realidad que elaboran subjetivamente.

Para Von Glasersfeld (1996) existen dos principios básicos en el constructivismo:

1. El conocimiento no se recibe pasivamente, ni por mera acción o comunicación, sino que es construido por el sujeto.
2. La función de la cognición es adaptativa y sirve para organizar las experiencias del mundo del sujeto.

Esto implica que la construcción del conocimiento se genere en actividad; “el constructivismo es una teoría del conocimiento activo, no una epistemología convencional que trata al conocimiento como una encarnación de la verdad que refleja al mundo ‘en sí mismo’, independiente del sujeto cognoscente” (Glaserfeld, 1996: 46). De esta manera, la esencia del constructivismo y sus principios básicos sostienen que es una teoría de la construcción del conocimiento activo, donde lo cognitivo se da en función de las experiencias que el sujeto construye en interacción con los objetos.

En cuanto a la naturaleza del conocimiento, el constructivismo se separa de corrientes epistemológicas como el racionalismo o el empirismo al rechazar la idea de una verdad única ajustándose a la tentación de la incertidumbre, ya que nadie tiene la autoridad para cegar la mirada de posturas alternativas (López, 2008). La verdad es relativa, por lo que nadie tiene acceso a la verdad absoluta, así el constructivismo se adhiere a una concepción relativista de la realidad (Cubero, 2005).

“La tarea -en el constructivismo- es buscar colectivamente la mejor solución, aunque no sea posible alcanzar la verdadera” (López, 2008: 8), ya que el acceso a la verdad o realidad está mediado por nuestros sentidos y subjetividades, por lo que un mismo hecho puede poseer verdades distintas dependiendo de los sujetos que lo relaten.

En ese sentido, el elemento central del constructivismo está en reconocer el fenómeno del conocimiento como resultado de una interdependencia entre el sujeto y el objeto observado: “el conocimiento es una construcción subjetiva, en la que la realidad deja de ser una entidad absoluta, como entidad independiente o externa a nosotros mismos” (Cubero, 2005: 45), por lo que la realidad es de los sujetos quienes la elaboran.

El constructivismo es una propuesta en la que se percibe al conocimiento como algo provisional, que implica múltiples construcciones y se genera dentro de los límites de una comunidad por medio de la negociación; por ello la construcción aceptada y útil en un contexto será aquella que presente mejores argumentos para intentar dar cuenta de algún aspecto de la realidad. De manera que, la realidad es relativa pero moderada por el consenso.

Varios teóricos en la enseñanza de las ciencias (Zambrano, 2009; Gómez, 2006; Sanmartí, 2002), concuerdan con que el conocimiento científico es también una construcción humana que se realiza en actividad, que la ciencia dispone de la mejor explicación posible respecto a los fenómenos naturales y que esta explicación ha sido aceptada en el consenso de una comunidad, la científica. Por lo tanto, lo real para el mundo científico es una manera de posicionarse ante la realidad y de crear realidades desde ahí, que serán relativamente verdaderas en la medida que un conglomerado científico lo legitime. De ahí que se pueda hablar de una visión constructivista de la enseñanza en ciencia a la que el presente trabajo está adherido

2.1.3 El constructivismo desde su dimensión psicológica

En el ámbito de la psicología han surgido una serie de ideas sobre la comprensión del mundo por los seres humanos que concuerda con los principios epistemológicos del constructivismo, dando lugar a su dimensión psicológica.

Desde su dimensión psicológica, el constructivismo adopta elementos principalmente de los siguientes enfoques cognitivos y epistemológicos para formar su marco psicológico:

1. La teoría genética de Piaget; lo colocamos como enfoque cognitivo por el impacto de sus investigaciones en la psicología, aunque su problema central de investigación era de posición epistemológica (López y Mota, 2011).
2. La teoría del origen sociocultural de los procesos psicológicos superiores de Vygostki.

3. La teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel.
4. La teoría de asimilación de Mayer.

Los elementos particulares que retoma el constructivismo de los distintos enfoques cognitivos y epistemológicos se encuentran en la tabla 9, entre los que destacan asuntos como la evolución de las ideas, la construcción social del conocimiento y la importancia de lo verbal en un proceso de aprendizaje.

Tabla 8. Aspectos cognitivos retomados por el constructivismo desde su dimensión psicológica.

Fuente: adaptado de C. Coll (1989:156)

Enfoques cognitivos	Piaget	Vygostki	Ausubel	Mayer
Aspectos que retoma la dimensión psicológica del constructivismo.	La teoría genética, en lo referente a la concepción de procesos de cambio, como las formulaciones estructurales clásicas del desarrollo operativo.	La teoría del origen sociocultural de los procesos psicológicos superiores, lo referido a las relaciones entre aprendizaje, desarrollo y la importancia de los procesos de interacción personal.	La teoría del aprendizaje verbal.	La teoría de la asimilación de Mayer especialmente dirigida a explicar los procesos de aprendizaje de conocimientos altamente estructurados.

A raíz de esas aportaciones identificamos las ideas centrales del constructivismo en su dimensión psicológica:

- a. El individuo es un agente activo en el proceso de aprendizaje
- b. El aprendizaje es una construcción de conocimiento desde las disposiciones internas de los sujetos y la actividad.

- c. El contexto social tiene un importante impacto en la construcción del conocimiento.
- d. El constructivismo centra su atención en los procesos de construcción de conocimiento.

a. El individuo como un agente activo en el proceso de aprendizaje

La idea de aprendiz como constructor activo de conocimiento, está presente en el constructivismo como parte de la orientación creativa que manifiesta esta teoría del conocimiento.

Para Piaget, “un aprendizaje eficaz requiere que los alumnos operen activamente en la manipulación de la información, pensando y actuando sobre ella para revisarla, expandirla y asimilarla” (Chadwick, 2001: 112). Su visión enfatiza la actividad del sujeto en la construcción de aprendizajes y la evolución de sus construcciones, así como el tipo de actividades para las que es competente en niveles de desarrollo relacionados con la edad física (cuatro grandes periodos: el sensorio motor, preoperatorio, operaciones concretas y de operaciones formales). Además “la acción constructiva que realiza el sujeto promueve los cambios que se dan en su organización cognitiva, es esa construcción activa la que le permite progresar evolutivamente de unos niveles de desarrollo a otros más complejos” (Cubero, 2005: 47).

A las estructuras cognoscitivas donde tiene lugar la organización del conocimiento Piaget las denomina `esquemas´. Cuentan con dos cualidades: asimilar elementos proporcionados por el exterior a partir de una acción nueva y acomodar esos esquemas de asimilación en las estructuras cognitivas, mediante los procesos de asimilación y acomodación. Cuando algún esquema de asimilación no logra acomodarse, Piaget (1985) plantea que existe un desequilibrio cognitivo que genera en el sujeto algún tipo de ansiedad que podría potenciarse como motivación para el aprendizaje.

De lograr acomodarse el esquema de asimilación, se presenta la adaptación intelectual que se refiere a “esos intercambios entre el organismo y el medio en los cuales la

asimilación y acomodación se hallan en equilibrio y ninguna de ellas predomina” (Chadwick, 2001), esta equilibración en el sujeto cognoscente se presenta mediante procesos de autorregulación como la metacognición.

La metacognición se refiere al conocimiento del conocimiento, que adquiere una importancia primordial en el aprendizaje desde una perspectiva constructivista (Sanmartí, 2002), ya que es un sistema de alerta y consciencia que ha mostrado eficacia en los aprendizajes de quienes la practican y fomentan. Se trata de procesos cognitivos que se concretizan cuando el sujeto cae en cuenta que ha aprendido algo, cuando genera dudas, cuando hace consciencia sobre la comprensión o falta de ella en algún aspecto específico, cuando reconstruye y aplica un programa de acción para resolver cierto problema, entre otros varios ejemplos.

Para Izquierdo (1999) y Sanmartí (1999, 2001, 2002, 2006) la actividad `científica´ en el aula favorece la construcción de conocimiento científico en congruencia con los planteamientos anteriores. Uno de los procesos sobre los que se realizan investigaciones de manera creciente, por su impacto en el aprendizaje, es la metacognición.

Además, es en actividad donde las personas interpretan su realidad a partir de sus propios conocimientos, lo que implica que el aprendizaje es una apropiación personal. El término apropiación es tomado de los planteamientos de Vygostki (1987), cuando asegura que la participación activa de los niños en la sociedad y la cultura le permite interiorizar los instrumentos (herramientas y signos) necesarios para actuar en determinada realidad.

Esa internalización no es una copia de los procesos externos (interpsicológicos/medio social-cultural-histórico) sino una construcción interdependiente con los procesos internos (intrapicológicos/individuo). De manera que los signos externos que ocupan un espacio interpsicológico, son contruidos -o reconstruidos- por el individuo como

signos controlados por el funcionamiento interno. Esa reconstrucción de los signos o herramientas para pensar y actuar en sociedad es a lo que Vygostki llama apropiación.

A partir de lo anterior, Cubero (2005) plantea al aprendizaje como la apropiación de los recursos de la cultura a través de la actividad en grupos sociales, lo que da pie a la siguiente idea central del constructivismo.

b. El aprendizaje es una construcción de conocimiento desde las disposiciones internas de los sujetos y la actividad.

Chadwick (2001) plantea que “la esencia del constructivismo es el individuo como construcción propia, que se va produciendo como resultado de la interacción de sus disposiciones internas y su medioambiente” (p.121), las disposiciones internas del sujeto han sido nombradas de distintos modos desde la psicología (‘representaciones’, ‘modelos’ o ‘esquemas’), pero en todas sus acepciones se sostiene que es a partir de ellas que se pueden construir aprendizajes nuevos.

Piaget (1968) plantea en su teoría psicogenética, que el proceso de asimilación de un esquema nuevo implica que existen una serie de estructuras cognitivas en los sujetos, que son las representaciones organizadas de aprendizajes previos, donde se tendrán que integrar elementos exteriores para lograr la acomodación y con ello, el equilibrio cognitivo. Estas representaciones son disposiciones internas del individuo, producto de la interacción con el medio externo mediante la puesta en juego de experiencias de aprendizaje anteriores; las cuales suelen ser relativamente permanentes y sirven como puntos de partida desde donde se filtra, categoriza, codifica y evalúa la información que se recibe del medio en relación con alguna experiencia relevante (Chadwick, 2001).

Estos esquemas -representaciones o modelos- cognitivos guían la acción de los sujetos y dan cuenta de lo que saben (Ernest, 1995); al representar el punto de partida para la construcción de nuevos conocimientos, son la mirada desde donde se posicionan los sujetos ante nuevas experiencias. Las nuevas experiencias ocurren en

la actividad, que es donde se da la interacción entre las disposiciones internas y el medio.

Al respecto, Sanmartí (2002) sostiene que es en actividad donde se evidencian y ponen en juego los saberes: “la vivencia inicial, la observación y la manipulación posibilitan concretar qué es lo que se quiere llegar a saber” (p.114), sobre todo en contextos estimulantes donde se fomente su explicitación y comunicación. De ahí que el contexto adquiera una importancia esencial en la construcción de conocimiento como lo expresa la siguiente idea central del constructivismo.

c. El contexto social tiene un importante impacto en la construcción del conocimiento.

Vygostki (1987) sostiene que el desarrollo del individuo es indisoluble de la sociedad en la que vive, que le transmite formas de conducta, de organización y conocimientos que el sujeto tiene que interiorizar. Lo que implica que el conocimiento es construido en situaciones y contextos particulares (Sanmartí, 2002). Al enunciar el contexto, se hace referencia a los `escenarios socio-culturales de acción´ donde tenga lugar la construcción de conocimiento.

d. Centra su atención en los procesos de construcción de conocimiento

Por último, un elemento importante a considerar es que el constructivismo centra su atención en los **procesos de construcción de conocimiento**, más que en el resultado u objeto de aprendizaje, pues “el punto clave del constructivismo no está tanto en el resultado del aprendizaje, sino en el proceso de la adquisición de conocimiento” (Chadwick, 2001: 113). Ya que es durante la construcción donde el individuo manifiesta y desarrolla sus competencias que le ayudarán a actuar y pensar en su realidad.

2.2 Constructivismo en la enseñanza de las ciencias

En décadas recientes, la teoría de conocimiento constructivista ha dado pie a investigaciones dentro de la enseñanza de las ciencias y los currículos escolares, con perspectivas de instrucción que podemos categorizar en dos principales corrientes: el

cambio conceptual y la modelización. Ambas comparten los principios fundamentales del constructivismo revisados con anterioridad, pero difieren en algunos aspectos y se encuentran en un nivel de investigación distinto.

La primera perspectiva -el cambio conceptual- incluye un vasto número de elaboraciones que han dado algunas directrices para continuar indagando el fenómeno de la enseñanza eficaz de ciencias. Sus principales precursores (Posner, Strike, Heswson y Gertzog, 1982) sostienen que es una línea epistemológica donde una preocupación primordial es “cómo los conceptos cambian con el impacto de las nuevas ideas, de las nuevas informaciones o de las nuevas evidencias” (p.221).

El cambio conceptual es considerado un proceso que de entrada considera las concepciones alternativas del alumno con la finalidad de producir insatisfacción en ellas -a partir de estrategias didácticas- y después introducir una nueva concepción, cuyas condiciones incluyen que sea inteligible y que pueda estructurar las experiencias anteriores. Además, la nueva concepción debe ser plausible, útil y proporcionar nuevos puntos de vista y exploración al alumno (Posner, Strike, Heswson y Gertzog, 1982). De manera que el alumno, en el mejor de los casos, cambie su concepción alternativa por una científica.

Los planteamientos principales del cambio conceptual se pueden resumir en:

- El aprendizaje es considerado como un proceso de cambio conceptual
- El cambio conceptual es el proceso mental del sujeto
- El cambio conceptual es tan complejo que requiere la transformación de diversos aspectos conceptuales y/o cognitivos del sujeto (ecología conceptual)
- Es un proceso que requiere que el sujeto tome conciencia del objeto de aprendizaje

Justi (2006) recupera textualmente a Duit y Treagust (2003), quienes realizan un análisis crítico de las investigaciones que hacen referencia al cambio conceptual en ciencias; a raíz de este análisis, proponen los siguientes argumentos como elementos

esenciales que tratan de favorecer la modificación de las concepciones alternativas del alumnado:

- “No tiene sentido considerar que el cambio conceptual tiene lugar en los contenidos o, más concretamente, en los conceptos aislados” (Justi, 2006: 174), ya que aprender ciencias supone comprender las relaciones que engloban conceptos, principios científicos y eventos que predicen, dependiendo del contexto social en el que aparecen.
- “No se debe hacer énfasis principalmente en el aspecto racional” (Justi, 2006: 174), sino rescatar los elementos afectivos y sociocognitivos del aprendizaje más que la estructura lógica de los contenidos.
- “Puesto que el aprendizaje es un proceso gradual de enriquecimiento y reorganización de las estructuras conceptuales de los alumnos, no se debe hacer énfasis en el conflicto cognitivo que produce el cambio conceptual mediante rápidas confrontaciones de ideas” (Justi, 2006: 175), sino pensar en la transformación y aumento paulatino de grado de complejidad de las concepciones alternativas del alumnado.

Estos enunciados han potencializado investigaciones en el ámbito de la educación en ciencias que han aportado elementos para la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

La segunda perspectiva constructivista de enseñanza en ciencias es la modelización, que parte de cinco supuestos básicos interrelacionados entre sí:

1. La ciencia escolar
2. El modelo cognitivo de la ciencia (MCC)
3. La actividad científica en el aula
4. La importancia de la argumentación en la enseñanza de las ciencias
5. La autorregulación del aprendizaje

Algunos de los supuestos anteriores surgen a partir de que investigadoras como Izquierdo *et al.* (1999) y Gómez (2006) reflexionan respecto a que la ciencia ha evolucionado a escalas de abstracción que resultan inaccesibles para el general de la población, por ello concluyen que enseñar ciencias es cada día más complejo. Esto sugiere que la construcción del conocimiento científico es por medio de discusión y contrastación de las ideas propias, y proponen la llamada ciencia escolar (Osborne y Freyberg, 1990; Izquierdo, 2001; Sanmartí, 2002).

La ciencia escolar para Izquierdo *et al.* (1999) tiene origen en dos procesos esenciales: la transposición didáctica y el aprendizaje significativo¹³. La transposición didáctica (Chevallard, 1985) implica la transformación del saber científico en algo apto para ser enseñado y aprendido por alumnos que no son y tal vez no serán científicos profesionales, por tanto, la ciencia que se enseñe en la escuela debe estar adaptada según la edad y contexto, sin dejar de ser rigurosa y mantener un nivel de abstracción correspondiente a las capacidades de los sujetos que aprenden. El **aprendizaje significativo se refiere a que las ciencias deben tener sentido para el alumno**, de manera que la ciencia que se enseñe en la escuela debe conectar con los intereses del alumnado ofreciéndole objetivos, fenómenos de estudio y conceptos acordes con sus intereses y concepciones alternativas, que serán diferentes de los de la comunidad científica; de ahí que, se le llama ciencia escolar a la ciencia que hacen los escolares dentro de las aulas. La concepción de ciencia escolar expuesta en este documento sólo tiene cabida desde el modelo cognitivo propuesto por Giere (1999) que abordaremos a continuación.

2.2.1 El modelo cognitivo de la ciencia (MCC)

Giere (1999) propone una visión de ciencia que dista considerablemente de la tradicional perspectiva positivista, reuniendo los puntos de vista de la epistemología, de la historia de las ciencias y de la psicología. El autor plantea que los científicos construyen teorías en su afán por representar los fenómenos del mundo; estas representaciones son aceptadas en virtud de elementos no representacionales del

¹³ No en el sentido de Ausubel.

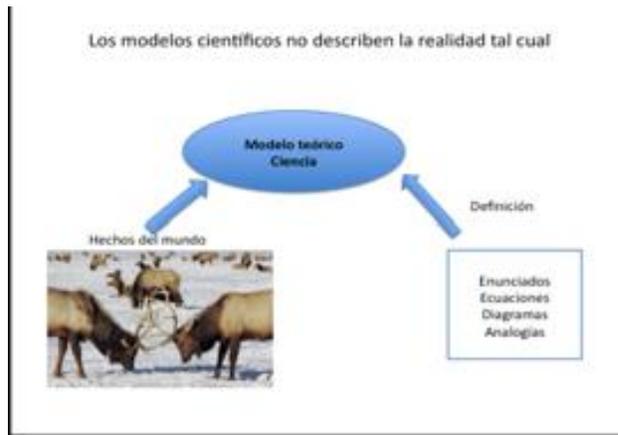
mundo, pero que permiten predecir y explicar fenómenos, así como resolver problemas. Giere (1999) considera las teorías como un reflejo de la realidad, de ahí que el modelo cognitivo de la ciencia asuma una postura realista.

La ciencia desde esta perspectiva es una manera de representar la realidad, una actividad que genera un tipo de conocimiento particular: el conocimiento científico. Su construcción es histórica y social (Kuhn, 1962), cuenta con una gran confiabilidad y aceptación social por su fuerte poder predictivo, por lo que globalmente es valorada como la fuente que proporciona el mejor conocimiento posible. Ese conocimiento, el conocimiento científico, tiene la cualidad de producirse en el consenso, donde se aceptan las mejores explicaciones posibles formando lo que se consideran 'modelos teóricos'.

Los modelos teóricos son generados por los científicos para explicarse el mundo e intervenir en él. Las teorías científicas están compuestas de modelos organizados y jerarquizados (Giere, 1999) que proporcionan explicaciones argumentadas y con poder predictivo de los fenómenos de la naturaleza, por ello se le denomina interpretación de teorías científicas basada en modelos. Desde este planteamiento se reconoce que los modelos teóricos no son una copia fiel de la realidad, ni la describen tal cual (Sanmartí, 2002) como se evidencia en la figura 3.

Para explicar esa realidad, los científicos construyen definiciones donde se encierran enunciados, diagramas, ecuaciones y analogías imposibles de observar en la propia naturaleza. Según una interpretación de las teorías basadas en modelos, "la relación entre las declaraciones y el mundo es indirecta a través del modelo" (Giere, 1999: 65).

Figura 3. Aproximación de las teorías científicas basadas en modelos (Giere, 1999).



No obstante, los modelos teóricos mantienen cierto grado de coherencia entre la realidad y la definición o forma de representación, lo que permite que se generen predicciones y se posibilite su aceptación y legitimación como muestra la figura 4. Esto implica que la realidad desde el MCC se considere desde una postura relativista moderada, por lo que Giere (1999: 65) plantea: “el objetivo de cualquier evaluación –del modelo- es llegar a poder juzgar sobre la adecuación de un modelo al mundo, basada en la evidencia presentada”.

Figura 4. Adecuación de modelo al mundo (Giere, 1999).

Los modelos científicos y la realidad han de tener algún grado de coherencia



El objetivo de la construcción de ciencia es interpretar los fenómenos del mundo y actuar sobre ellos, “relacionándolos entre sí mediante modelos teóricos, que enlazan con los fenómenos mediante proposiciones o hipótesis teóricas y sus teorías, que son familias de modelos teóricos” (Izquierdo *et al.*, 1999: 84).

Estas construcciones se dan mediante la actividad cognitiva de las personas, ya que la ciencia en sí es una actividad humana, por lo que hacer ciencia en la escuela, como plantea la ciencia escolar, supone desarrollar una actividad científica en el aula.

2.2.2 La actividad científica en el aula

Desde el MCC, los científicos se embarcan en una actividad humana que se basa en la discusión y contrastación de las ideas propias respecto a fenómenos del mundo, generando con ello teorías científicas, que son familias de modelos teóricos. De tal manera, hacer ciencia en la escuela implica desarrollar actividad científica escolar.

La actividad científica escolar se refiere a todas las actividades que se hacen en función de generar un modelo científico escolar sobre algún fenómeno particular, tales como: la explicitación y discusión de las concepciones alternativas, la manipulación de objetos -físicos o mentales- de saber científico, la observación, la argumentación escrita y oral, entre otras.

La propuesta de realizar actividad científica escolar nace de recordar que es en el contexto de descubrimiento donde los científicos crean modelos teóricos a partir de sus experiencias, generando así conocimiento en ciencias. Sanmartí (2002) plantea que “mediante la actividad científica escolar, los fenómenos de la vida cotidiana se transforman en hechos científicos escolares” (p.115), de los que los alumnos dan cuenta elaborando su propios modelos científicos escolares, que no son los mismos de los científicos expertos pero mantienen un cierto grado de coherencia y congruencia.

Para conocer el modelo que elabora el alumnado, es necesaria la explicitación del mismo por medio de los distintos tipos de lenguaje: dibujos, diagramas o gráficos,

maquetas, expresión verbal, etc. Todos son formas que nos acercan a conocer cierta cualidad del modelo científico escolar que está siendo elaborado (Sanmartí, 2002).

Lo anterior, plantea uno de los puntos medulares de la actividad científica escolar y experta: la comunicación de los modelos teóricos que se generan, que se da mediante el lenguaje.

2.2.3 La importancia del lenguaje en la enseñanza de las ciencias

Para Tobin (en López y Mota, 2002) la ciencia es una tarea grupal y un discurso que evoluciona e involucra maneras de hablar, interactuar, actuar y creer, que son particulares de esta forma de conocimiento. Y es que en ciencias -como en otras áreas de conocimiento-, se cuenta con un lenguaje especializado, que tiene como cualidades que la diferencian: la formalidad, la impersonalidad, la precisión y la rigurosidad. Quienes manejen un discurso científico tendrán que compartir en cierto grado este lenguaje como condición indispensable.

Para Lemke (1995) el discurso es una “actividad social de producir significados con el lenguaje y otros sistemas simbólicos en una situación particular o entorno” (en López y Mota, 2002: 399), de manera que por medio del lenguaje se comparten formas de ver dentro de una comunidad, lo que le da un sentido de unidad a la misma.

Lo anterior permite plantear que para compartir símbolos y lenguaje de la ciencia éstos deben ser negociados por medio de experiencias que permitan la construcción de significados y símbolos. Esta negociación debe partir del discurso inicial -primario- que los alumnos han construido en su contexto sociocultural, y que por medio de la función del profesor como mediador se irá complejizando y adaptando en cierto grado a lo generado en la comunidad científica. Al lenguaje, producto de la negociación, se le llamará lenguaje compartido (López y Mota, 1996:48) y supondrá una cercanía mayor con el lenguaje científico experto.

El juego de negociación del lenguaje tiene un momento clave durante la **argumentación** del alumnado sobre los distintos fenómenos y experiencias vivenciados en el aula de ciencias. Sea el tipo de expresión que sea -oral, escrita o gráfica- el argumentar requiere de procesos tan complejos como justificar, enmarcar, brindar hechos y circunstancias, reforzar, legitimar y concluir (Sardá y Sanmartí, 2000), donde el papel del profesor como mediador es esencial para que se logre la negociación del lenguaje científico.

La insistencia de los investigadores de educación en ciencias de poner atención en el manejo y negociación del lenguaje científico es en el sentido de poner la ciencia al alcance de la mayoría de los estudiantes como herramienta para erradicar el analfabetismo científico.

El lenguaje es visto entonces como un recurso que debe ser negociado, pero también existe otro tipo de reflexión más interna que se refiere a los procesos de autorregulación sobre lo que estoy aprendiendo, motivo del siguiente apartado.

La autorregulación del aprendizaje

Dentro de la enseñanza de las ciencias, en la modelización la principal evaluación que se realiza es la propia, la autorregulación de los aprendizajes por medio de la metacognición. La toma de consciencia sobre lo que se sabe de alguna experiencia en particular, hasta ¿dónde soy capaz de explicar? y ¿qué dudas tengo?, son sólo algunas de las maneras en las que se ponen en marcha los procesos de la metacognición.

Una de las estrategias para lograr la autorregulación es compartir los objetivos que se tienen en la clase con el alumnado y realizar una reestructuración de los mismos, para con ello posicionar a los alumnos como los responsables de su propio aprendizaje.

Baird (López y Mota, 2002) considera que puede haber un aprendizaje efectivo si se basa en el mejoramiento de los procesos metacognitivos, planteando que para que la metacognición resulte el estudiante debe sentirse desafiado.

2.3 A experimentar, pensar y comunicar: modelizar

Izquierdo *et al.* (1999) aclaran las características de la ciencia escolar, que de la mano con los argumentos anteriores es la médula de la modelización en ciencias. En la tabla 10 se enlistan y describen las características de la ciencia escolar, las que dan cuenta de los principios fundamentales de la modelización, así como ofrecen elementos para la construcción de una estrategia didáctica anclada en la misma.

Tabla 9. Características de la ciencia escolar propuestas por Izquierdo *et al* (1999).

	Característica	Descripción
C I E N C I A E S C O L A R	Es ciencia	Lo esencial es aceptar que el pensamiento teórico –mediante modelos- es lo mejor que se puede ofrecer a los alumnos siempre y cuando tengan sentido para él.
	Es experimental	La experimentación y la argumentación son imprescindibles para la construcción de los hechos del mundo.
	Es discursiva	El lenguaje adquiere una profundidad necesaria para convertirse en un instrumento de comunicación y de comprensión.
	Proporciona autonomía	Su dinámica viene influenciada por la propia reflexión sobre el aprendizaje.
	Es autónoma	No es espontánea, sino que requiere de planificación; seleccionando objetivos, modelos y acciones.
	Es aplicada	El control de los aprendizajes pasa por el control de las acciones, permitiendo al alumno hacer algo con sentido.
	Es diversa	Pueden darse diversos enfoques y resultados pero en todos se aprende a actuar y pensar algún aspecto del mundo real.
	Es rigurosa	Presenta la diversidad de intereses y modelos del mundo, lenguajes y experiencias en congruencia con los principios de rigor en el uso de la ciencia.

En síntesis, la ciencia escolar es el conjunto de actividades científicas que se desarrollan en el aula de clases, que son diferentes en métodos, materiales, intencionalidad y propósitos a los de la ciencia erudita, pero que muestran coherencia en cuanto a los principios universales que comparten.

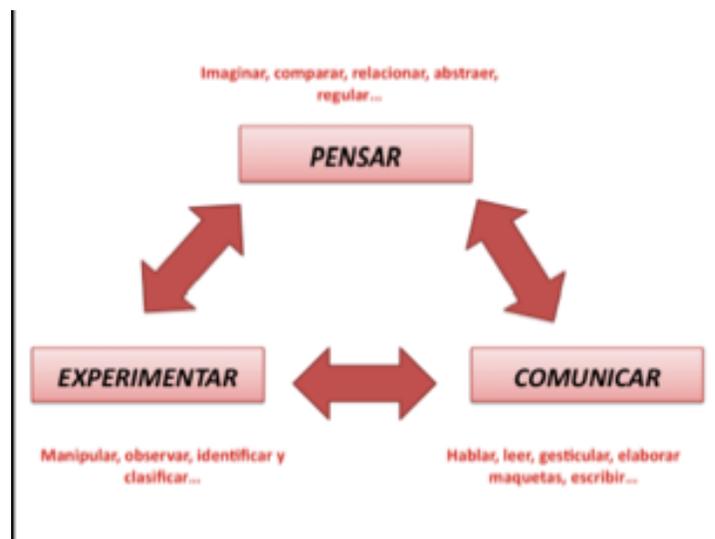
Las características de la ciencia escolar deben estar presentes en la actividad científica escolar que se plantee en el aula, reconociendo que la finalidad de esta actividad es la

construcción de un modelo de ciencia escolar (Sanmartí, 2002) que cumpla con ciertas cualidades:

- ❖ Que sea construido por los alumnos, siendo útil para explicar fenómenos del mundo y que pueda evolucionar.
- ❖ Que mantenga coherencia con los modelos científicos expertos sin ser igual.
- ❖ Que reúna conceptos, experiencias, analogías, formas de expresar y valores que para los alumnos tengan sentido
- ❖ Que sean abstractos y generales

La construcción de los modelos escolares es por medio de tres principios fundamentales que Sanmartí (2008) considera claves y que se encuentran en la figura 6.

Figura 5. Estrategias claves para la modelización en el aula (Sanmartí, 2008)



De manera que modelizar implicará “que los alumnos *miren hechos*, con una finalidad, que *imaginen modelos*, y los representen, para *comunicarse y poder autorregularlos*” (Sanmartí, 2008).

CAPÍTULO 3

ENTRE MODELOS

*“Nothing in biology makes sense
except in the light of evolution”
Dobzhansky (1973: 125)*

En el capítulo anterior, planteamos que el referente teórico en el que se **ancla** la propuesta didáctica de la presente tesis es el enfoque de la modelización; que se refiere a la construcción de modelos científicos escolares en la clase de ciencia (Izquierdo *et al.*, 1999; Sanmartí, 2002, 2008; Gómez, 2006). De manera que, la modelización pretende fomentar la complejización de los modelos cognitivos iniciales con los que el alumnado llega a las aulas -y que se infieren a partir de evidenciar las concepciones alternativas-, hacia la construcción y tránsito a modelos científicos escolares más cercanos a los de la ciencia experta.

Por ello, durante este capítulo se infiere el modelo cognitivo del alumnado (MC) subyacente en las concepciones alternativas revisadas en el capítulo 1 como referencia para la propuesta de actividades iniciales de la estrategia didáctica, en congruencia con el enfoque teórico de la modelización que propone una complejización de este MC inicial del alumnado hacia un modelo más cercano al científico denominados modelos científicos escolares.

La complejización o tránsito hacia modelos científicos escolares más cercanos a los de la ciencia experta es por medio de la actividad científica escolar, donde el alumnado al actuar, pensar y comunicar construirá o transformará su modelo cognitivo hacia uno que le permita explicarse el fenómeno de la naturaleza en cuestión de manera más global, al poderlo trasladar a un mayor número de situaciones (Sanmartí, 2008).

No obstante, la construcción -o complejización- del modelo científico escolar no es tan libre como se podría suponer, ya que la modelización tiene la clara intención de acercar

a los alumnos al lenguaje de la ciencia experta y alfabetizar científicamente a la población escolar. Por ello, como plantean López *et al.* (2011) el modelo científico escolar en construcción durante las clases estará guiado por un modelo de arribo previamente construido, y se hará evidente en el tipo de actividad científica escolar que se propongan. Para la construcción del modelo de arribo se toman como base dos modelos principales: el modelo científico experto y el modelo curricular que prescriban los planes y programas vigentes. Un tercer modelo se toma como referencia el modelo cognitivo inicial -inferido de las concepciones alternativas encontradas en la literatura- con la finalidad de reconocer el posible punto de partida.

El modelo de arribo considera las entidades primordiales y las relaciones que se entablan entre ellos, así como las condiciones que determinan y que permiten en conjunto explicar el fenómeno de la naturaleza en cuestión, en este caso la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo. Para aclarar las entidades constitutivas de modelo de arribo y sus relaciones, es necesario inferir y explicitar el modelo científico experto -que subyace en las bases teóricas de la evolución biológica- y el modelo curricular -subyacente en los planes y programas.

Por lo anterior, en el presente capítulo haremos una revisión teórica de la evolución biológica que permita inferir el Modelo Científico Experto (MCE) y después una revisión del planes y programas en lo referente al tema de la evolución biológica en secundaria que permita inferir el Modelo Científico Curricular (MCCu). Ambos modelos apoyaran la construcción de un cuarto modelo: el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA).

Para finalizar el capítulo, se hace una comparación entre el MCEA y el MC que guiará el diseño y la construcción de la estrategia didáctica.

3.1 Modelo Cognitivo (MC) derivado de la revisión de las concepciones alternativas de la evolución biológica

Al estar anclados en la propuesta teórica de la modelización se considera primordial identificar el modelo cognitivo con el que los alumnos dan cuenta de los fenómenos naturales que ocurren a su alrededor. La explicitación y análisis de las concepciones alternativas sobre el fenómeno de la evolución realizado en el capítulo 1 permite perfilar las cualidades del modelo cognitivo e inferirlo. No obstante, debemos hacer un alto y aclarar en todo momento que el modelo o los modelos que se desarrollan en esta tesis son inferencias de los autores basados en las concepciones alternativas, teoría, productos de la actividad científica escolar y currículo vigente en nuestro país.

Antes de inferir el modelo cognitivo es necesario precisar que un modelo es una construcción teórica, un entramado que esta compuesto de elementos, relaciones y condiciones.

Una descripción de estos aspectos constitutivos de un modelo es: que los elementos “pueden considerarse 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 a veces también por su estructura” (Gómez, 2006: 141), es decir, el conjunto de conceptos centrales que definen el modelo cognitivo sin los que no tendría sentido; las relaciones son aquellas interacciones que tienen lugar entre los elementos, le dan forma y definen al modelo cognitivo; tanto los elementos “y sus relaciones están suscritas a las consideraciones del ámbito del modelo en cuestión” (Gómez, 2006: 142) estas consideraciones son las condiciones, que son cualidades que medían la dirección del modelo cognitivo -en el marco teórico aplicaremos el planteamiento de construcción de los modelos-.

En resumen, un modelo cognitivo está constituido por elementos, relaciones y condiciones, estos son inferidos a partir de las concepciones alternativas sobre

evolución biológica. Para identificar los elementos dentro del cúmulo de concepciones alternativas revisadas se consideran los dos siguientes aspectos:

- Elementos son aquellos conceptos o generalizaciones que le den estructura a la concepción alterna, por ejemplo en la concepción *“La capacidad para construir un nido de los pájaros, la heredaron de sus ancestros dinosaurio que siempre tuvieron esa característica”*, los conceptos ser vivo (expresado como pájaro y dinosaurios) y ancestros son más estructurales y generales que nido, heredaron y siempre; por ello los primeros serán considerados entidades.
- Los elementos se caracterizan por su capacidad de comunicar, en el ejemplo anterior ser vivo comunica más en el enunciado que la palabra nido, por ello ser vivo será considerada entidad.

Para ubicar a las relaciones, la atención se centró en las interacciones que se entablan entre los elementos ya reconocidos, en el ejemplo anterior una de las interacciones que enlaza a los elementos ser vivo y ancestro es herencia, por ello es considerada como una relación. Para identificar las condiciones, se analizó cuáles eran las consideraciones que influían en las concepciones alternativas revisadas, en el ejemplo *“La capacidad para construir un nido de los pájaros, la heredaron de sus ancestros dinosaurio que siempre tuvieron esa característica”* la condición identificada es la palabra “siempre” que alude a cualidades sostenidas en el tiempo.

Después de describir brevemente el proceso seguido para identificar a los elementos, relaciones y condiciones del modelo explicativo de los alumnos, inferido a partir de las concepciones alternativas sobre evoluciones biológicas, se enuncian cuales son en la Tabla 10. Donde encontramos 3 elementos centrales que son ser vivo, ancestro y ambiente; sobre las relaciones identificamos ocho que son: cambio, acostumbrarse, adaptación, exigencia, herencia, perfeccionamiento, poder supremo y deseo interno; las condiciones son dos finalizo y tiempo humano.

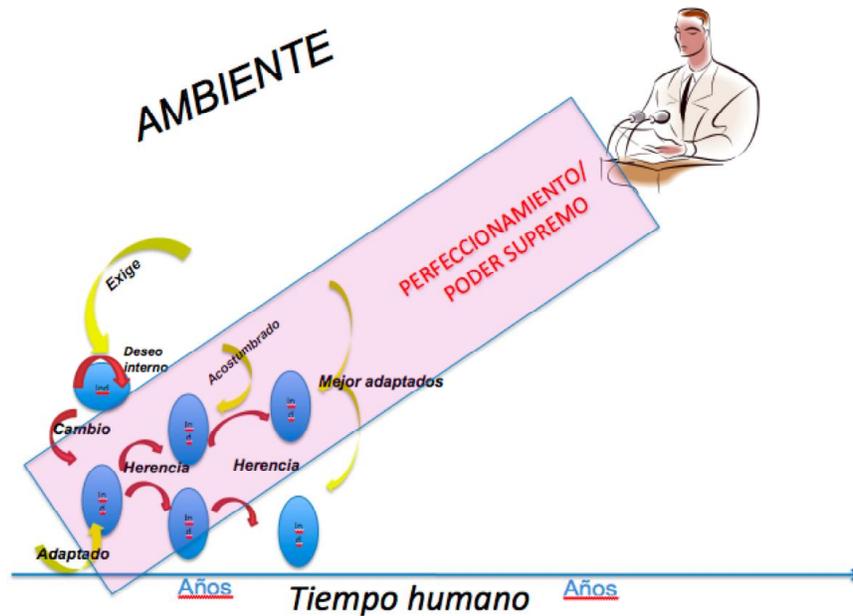
Tabla 10. Elementos, relaciones y condiciones del MC

Modelo Explicativo de la evolución biológica		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo Ambiente Ancestro	Cambio Acostumbrarse Adaptación (proceso individual) Exigencia Herencia Perfeccionamiento Poder supremo Deseo interno	Tiempo humano Finalizo

En la tabla anterior encontramos que son tres los elementos, ocho las relaciones y dos las condiciones del modelo explicativo de la evolución biológica, lo que implica que su complejidad yace en el número de relaciones que se entablan entre tres entidades del modelo. Algunas de las relaciones encontradas son conceptos de naturaleza distintas (poder supremo y adaptación, por ejemplo) para explicar un mismo fenómeno. El significado que dan a conceptos como adaptación es totalmente distinto al significado científico, mostrando más relación con palabras como acostumbrarse. En cuanto a las condiciones de tiempo y finalizo da cuenta de un modelo cognitivo de evolución biológica que implica, que es un fenómeno descriptivo porque ha dejado de ocurrir.

La figura 6 es la representación del modelo explicativo de evolución biológica inferido de las concepciones alternativas, los elementos se encuentran ubicadas en figuras geométricas -ser vivo se representa con un círculo, ambiente se representa en un rectángulo y ancestro en un cuadrado-. Las relaciones se representan con flechas que indican la interacción entre los elementos, con excepción de perfeccionamiento y poder supremo que son como un rectángulo largo que atraviesa todo el proceso y que no tiene la punta de una flecha porque desde este modelo explicativo la evolución biológica finalizo. La condición tiempo se indica por medio de una línea dividida en años que indica la condición en tiempo humano que subyace en las concepciones; finalizo se indica por medio del rectángulo que atraviesa el proceso.

Figura 6. Modelo Explicativo sobre evolución biológica inferido de las concepciones alternativas



En la figura anterior podemos ver como los elementos ser vivo y ambiente se relacionan en un continuo de herencias `adaptativas`, que tienen origen en el deseo interno del ser vivo por cambiar para adaptarse -visto como acostumbrarse-. El tiempo humano es una condición que determina el proceso en el que ocurren los cambios. Se encuentra mejor adaptado aquel individuo que se perfecciona en el ambiente y es capaz de heredar esos cambios; de manera que en cada generación los individuos están más perfeccionados a su ambiente. El MC también plantea que el proceso evolutivo ha terminado y la muestra máxima la representa el hombre, estas afirmaciones darán pie.

El modelo cognitivo de evolución biológica inferido de las concepciones alternativas reportadas en la literatura muestra lejanía con el modelo teórico de la ciencia, tal como las concepciones alternas que ayudaron a inferirlo. Esta incongruencia entre lo que piensan los alumnos sobre el modelo teórico que explica nuestro fenómeno de referencia y lo que dice la ciencia al respecto, junto a cómo se enseñan las ciencias de manera más eficaz permite que visualicemos una clara problemática a plantear en el siguiente apartado.

3.2 Modelo Científico Experto (MCE) de evolución biológica

En este apartado, se formula el modelo de evolución biológica que emana de la ciencia a partir de una revisión teórica. El tema de la evolución biológica cuenta con un vasto desarrollo de ideas y teorías a lo largo de la historia de las ciencias. Algunas de ellas muestran similitud con las concepciones utilizadas por el alumnado en la actualidad, por ello se considera importante relatar brevemente las ideas principales que dieron forma al complejo modelo teórico de la evolución biológica aceptado por la comunidad científica de nuestro tiempo.

En las siguientes páginas se hace una breve revisión histórica de las ideas y teorías en torno al fenómeno evolutivo, más adelante se establecen los elementos centrales, relaciones y condiciones de la teoría de la evolución biológica y por último se infiere el modelo científico experto que se plantea desde la biología.

3.2.1 Antecedentes: algunas ideas en torno a la evolución en la historia de las ciencias previas a los trabajos de Darwin y Wallace.

De griegos...

Existe una serie de ideas que anteceden el siglo IV a.C. que han sido relacionadas con el fenómeno evolutivo por biólogos reconocidos como Helena Curtis (2011). Las primeras ideas relacionadas con la evolución en la historia de las ciencias, nacen en la cuna de la antigua escuela griega de los jónicos. El primero en plantearse el proceso, por medio del cual las cosas derivan de una sustancia primordial, fue Anaximandro (611-547 a.C.), fundador de la escuela filosófica griega de los jónicos, mediante un proceso que nombró `separación´ y que explica en los siguientes términos:

“La sustancia infinita está animada por un eterno movimiento, en cuya virtud se separan de ella los contrarios: caliente y frío, seco y húmedo. El nacimiento es la separación de los seres de la sustancia infinita. Esta separación es la ruptura de la unidad, que es propia del infinito, y la substitución por la diversidad. Con la separación u origen de los nuevos seres se determina la condición de los seres finitos: múltiples, diversos y oponiéndose entre sí. Por lo que se refiere a los hombres, no son seres originados de la naturaleza. No saben, en efecto, alimentarse por sí mismos; no habrían, por tanto, podido sobrevivir si hubieran nacido como ahora cuando nacieron por primera vez. Han debido, pues originarse de otros animales” (Curtis et al., 2011: 473).

Las aportaciones de Anaximandro se pueden sintetizar en tres, respecto de la teoría de la evolución biológica: admitir la posibilidad de cambios en las formas vivas no acudiendo a fuerzas sobrenaturales (como era la tendencia histórica del momento), considerar al hombre como producto de esos cambios y afirmar que los animales superiores se originaron a partir de animales inferiores:

“... las criaturas vivas surgieron del elemento húmedo al ser evaporado por el sol. En el comienzo el hombre era como otro animal, a saber, un pez”. (Curtís *et al.*, 2011: 474).

Una afirmación más de Anaximandro que tiene implicaciones en la teoría evolutiva es que sostenía que la Tierra era infinitamente vieja, lo que supone que tiene una larga historia a la que esta unida la historia de los seres vivos.

Empédocles de Agrigento (493-433 a.C.) introdujo ideas de cambio para explicar la diversidad de organismos, mediante un mecanismo diferente al de Anaximandro, ya que sostenía que los seres vivos se habían formado por la unión de distintas partes: “El resultado de estas uniones eran distintos tipos de criaturas, algunas viables y otras monstruosas que no podían sobrevivir” (Curtis *et al.*, 2011: 478).

Los argumentos de ambos filósofos giran en torno a la idea central de que los organismos no permanecen fijos al paso del tiempo, idea que fue retomada hasta más de veinte siglos después.

Uno de los filósofos griegos más conocidos -considerado el primer naturalista de la historia- fue Aristóteles (348-322 a.C.) quien creó un sistema de organización de los seres vivos denominada *Scala Naturae* o Escala de la Naturaleza. En esta Escala, en los peldaños más bajos, ubicaba a organismos simples y en el peldaño más alto al hombre, el resto de los seres vivos eran agrupados entre estos extremos. La *Scala Naturae* fue utilizada durante varios siglos aun cuando la biología ya era considerada un campo de estudio consolidado.

Aunque Aristóteles estaba convencido de que los organismos habían existido siempre, la *Scala Naturae* ayudó a que algunos biólogos que trabajaron posteriormente con ella evidenciaran las similitudes entre los distintos seres vivos, aquí radica el valor de esta aportación en el estudio de la evolución.

Ilustrados

En 1669, el geólogo y anatomista danés Nicolaus Steno (1638-1686) después de realizar múltiples viajes al interior de Italia observando restos fósiles publica *De Solido Intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodrromus* (Discurso preliminar de una disertación sobre los cuerpos sólidos de manera natural contenidos en un sólido), el cual constituye una piedra fundamental para la geología, pues da origen a la ciencia de la cristalografía.

La premisa fundamental expuesta por Steno -que se convirtió en una revolucionaria idea-, fue la afirmación de que los fósiles eran restos de antiguos animales enterrados y que muchas rocas eran el resultado de la sedimentación. Según la interpretación de Steno (realizada a partir de un relato bíblico) esos restos fueron arrastrados y enterrados como consecuencia del diluvio universal, con lo que justificaba que hubiera restos de criaturas marinas en la cima de montañas.

Nicolaus Steno evidenció que la corteza terrestre tiene una historia cronológica de eventos geológicos, que puede conocerse por medio del estudio cuidadoso de los estratos geológicos y los fósiles, afirmación elemental en la construcción de la teoría de la evolución biológica.

En 1749, se propone por primera vez que los organismos vivos podrían sufrir cambios a través del tiempo, idea surgida por uno de los científicos con mayor arraigo religioso de la historia Georges Louis Leclerc de Buffon (1707-1788), quien plantea que además de las criaturas producidas en la creación divina: "...hay familias menores concebidas por la naturaleza y producidas por el tiempo" (Curtis *et al.*, 2011: 482).

Buffon al enfrentarse con el enigma de la desconcertante variedad de organismos en la Tierra, explicó que ocurrieron cambios mediante un proceso que llamó degeneración, además afirmó que el mejoramiento y la degeneración son la misma cosa ya que implican alteración en la constitución original de los organismos.

No obstante (al igual que Steno), Buffon se arraigó en la religión dejando para otros las explicaciones sobre cambio y variedad en los seres vivos, entre los que se encontraría el encargado de los herbarios del rey contratado por el propio Buffon: Jean Baptiste Lamarck.

En 1753 Carl von Linné (1707-1778) publicó *Species Plantarum*, dos volúmenes enciclopédicos donde describe cada especie de planta conocida en su época, por medio de un sistema de nomenclatura binaria que sigue en uso actualmente. Linné era un naturalista sueco con fuerte arraigo en la religión, creyente de la creación divina - como la mayoría de la población en ese tiempo- aunque reconocía que el patrón de `creación especial´ era más complejo de lo pensado entonces.

La contribución de Linné a la teoría evolutiva es que a partir del orden que le pone a miles y miles de especies hace evidente ciertas regularidades en la organización y funcionamiento de los seres vivos; la comparación entre los diferentes grupos de organismos permite considerar que unos derivan de otros.

En 1785, el geólogo James Hutton (1726-1797) propone la teoría conocida como el `uniformitarismo´ que plantea que la Tierra ha sido moldeada por procesos lentos y graduales como: el viento, el clima y el fluir del agua, procesos que están en acción en el mundo actual. El valor del uniformitarismo para la evolución reside en pensar que la Tierra tiene una larga historia (idea nueva para los europeos del siglo XVIII), que iba más allá de los seis mil años propuestos por los teólogos cristianos.

En 1789, la idea de que las especies fueran fijas era cuestionada cada día por más naturalistas. Uno de ellos -que además era médico y escritor- de nombre Erasmus

Darwin (1731-1802) sostenía varios ejemplos donde los organismos habían tenido modificaciones para vivir en determinado medio. Un ejemplo era que el oso polar era un oso común que por vivir en el Ártico se había modificado y había pasado la modificación a sus oseznos. Las ideas de Erasmus Darwin que pudieran estar relacionadas con el fenómeno evolutivo nunca fueron claras y bien formuladas. Sin embargo, la importancia de su aportación a la construcción de la teoría evolutiva está más relacionada con la posible influencia que pudo tener en el pensamiento de su nieto Charles Darwin.

Como se ha explicitado en párrafos anteriores, un elemento que logra tensionar las ideas fijistas poniéndolas en duda, son los hallazgos de geólogos como Nicolaus Steno y el cambio en la interpretación de los mismos; a partir de considerar que los fósiles y estratos son restos de animales y tiempos pasados, siendo el parteaguas del desarrollo de la teoría evolutiva.

Durante los siglos XVII y XVIII se dio un auge por las expediciones científicas a diversos rincones del globo incluidas las tierras recién descubiertas (América Central y América del Sur), en ellas, la recolección de restos fósiles y nuevos animales se convirtió en un hecho trascendental, lo que ayudó a que renaciera el interés por los fósiles, que hasta esos días sólo eran considerados objetos de colección y ornamenta.

El primero en estudiar a consciencia la distribución de los fósiles, fue el agrimensor¹⁹ y geólogo inglés William Smith (1769-1839) ya que su trabajo lo colocaba constantemente en minas, a lo largo de canales o en campo. En 1799, plantea que cada estrato terrestre contenía tipos característicos de fósiles y que éstos eran la mejor manera de identificar estratos al comparar diferentes lugares geográficos. Si bien Smith no se planteó el ¿cómo? y ¿por qué se habían formado restos fósiles?, planteó la noción de que la superficie actual de la Tierra había sido formada capa sobre capa en un muy largo tiempo.

¹⁹ Agrimensor es la persona especializada en medir la superficie de los terrenos y levantar los planos correspondientes.

Con las aportaciones de Smith y el uniformitarismo de Hutton quedaba al descubierto que la Tierra era muy antigua, idea cuyo potencial abonó a favor de una de las revoluciones más importantes en la geología: pasar del estudio y descripción de rocas a un estudio de tiempo y cambio del planeta.

En este momento histórico de grandes expediciones, un naturalista, médico y botánico francés Bonpland (1773-1858) y un naturalista alemán Humboldt (1769-1859) emprendieron un viaje al continente americano durante cinco años. Durante el recorrido ambos científicos recolectaron un número impresionante de flora y fauna del nuevo continente, situación que los hizo muy reconocidos. Bonpland reunió un herbario de seis mil plantas de las que gran parte fueron descubiertas por él. Humboldt se interesaba por la cultura y ciencia universal de los lugares recorridos.

Y fue justo esta panorámica lo que les permitió pensar la posibilidad de una geografía de las plantas completamente vinculada con la geología, es decir, comenzaron a cuestionarse la posibilidad de que la gran variedad de vegetales y animales podían haber sido modificadas o afectadas paulatinamente por las condiciones ambientales. En consecuencia, la historia de los seres vivos quedó ligada a la historia de tiempo y cambio de la Tierra.

Los párrafos anteriores exponen las principales ideas relacionadas con el fenómeno de la evolución biológica, surgidas en la historia de las ciencias antes de una propuesta clara y concisa que pretendiera brindar una explicación completa al respecto. El siguiente apartado expone la que es considerada la primera teoría evolutiva (Ledesma, 2008).

3.2.2 La primera teoría coherente de la evolución: Jean Baptiste Lamarck

El responsable de proponer por vez primera una serie de ideas articuladas que explicaban la evolución biológica fue Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet Caballero de Lamarck (1744-1829), un reconocido naturalista francés perteneciente a una familia aristócrata venida a menos. Lamarck se sintió atraído por la vida militar e ingresa en

1761, donde fue reconocido por su valentía, aunque se retiró en 1768 después de sufrir una lesión. Por ello, decide trabajar en un banco, mientras se dedica a una de sus pasiones el estudio de la botánica a un lado, entre otros, de Rosseau. Sus investigaciones lo conducen a la publicación de Flora Francesa en 1779, su primera obra que tuvo reconocimiento y aceptación por la comunidad científica del momento. Su amplio conocimiento sobre la flora de Francia lo lleva a ocupar el puesto de Corresponsal del Jardín y Gabinete del Rey en 1781, invitado por Buffon. Sus virtudes en torno a la botánica lo llevan a ser el Guardián de los Jardines del Rey en un periodo comprendido entre 1783 a 1790.

En 1794 su trayectoria lo coloca como Bibliotecario del Museo de Historia Natural y profesor en la cátedra de zoología, donde gracias a su perspectiva respecto de la organización de los seres vivos y a las muestras de animales que tenía a su disposición comienza la etapa más fructífera de su vida académica; que lo llevan a publicar su principal obra *Philosophie Zoologique* donde expone su teoría respecto de la evolución de los seres vivos.

Lamarck muere en 1829, después de una vida llena de vicisitudes económicas y producción académica profunda y muchas veces mal interpretada.

Philosophie Zoologique la obra de Lamarck

La cumbre académica de Lamarck yace en su obra *Philosophie Zoologique* publicada en 1809, en la que se relata la primera teoría evolutiva coherente en la historia de las ciencias. No obstante, las ideas coherentes y estructuradas mostradas en ese texto son resultado de los pensamientos que fue cultivando en su trayecto intelectual y vasta obra. Las ideas que permitieron articular la *Philosophie Zoologique* y que son las premisas académicas esenciales que marcan las obras de Lamarck, se exponen a continuación:

1. Una arraigada búsqueda de propiedades generales pertenecientes a los seres vivos condujo a Lamarck a diferenciar entre lo inorgánico y lo orgánico, idea que expone en su obra *Flora Francesa*:

“observemos primero un gran número de cuerpos compuestos de una materia bruta, muerta y que aumenta por la yuxtaposición de las sustancias que concurren en su formación y no por efecto de ningún principio interno de desarrollo. Estos seres se suelen llamar seres inorgánicos o minerales...Otros seres están provistos de órganos propios para diferentes funciones y disponen de un principio vital muy marcado y de la facultad de reproducir su semejante. Se les ha agrupado bajo la denominación general de seres orgánicos” (Lamarck, 1778: 85).

2. Al clasificar a los seres vivos de manera separada de lo inerte (orgánico -inorgánico), Lamarck plantea que su origen debe ser distinto también, por ello, propone:

“que todas o la mayor parte de las formas vivas ya no se crean simultáneamente -recordemos que la tendencia histórica de pensamiento sobre el origen de los seres vivos era el creacionismo, desde donde pensar en el cambio de los seres era imposible- y con su complejidad, sino que se hacen derivar unas de otras mediante una serie de variaciones sucesivas; y debido a la acumulación de los efectos ejercidos sobre la estructura misma de los organismos, por la tendencia de la naturaleza a la progresión, la serie continua de los seres en el espacio puede resultar en una serie continua de transformaciones en el tiempo, por lo que la aparición y la variedad de los seres descansan en una característica de los vivientes mismos: su poder de variación y adaptación.” Lamarck (1809:333).

3. Una visión integral del mundo natural, donde lo químico está supeditado a lo biológico, y a su vez lo biológico y químico interrelacionado con lo físico, geológico y meteorológico: “La naturaleza como un todo, en el que sus partes se encuentran interrelacionadas en procesos” (Ledesma, 2008: 329). De manera que lo orgánico se encuentra en constante relación con lo inorgánico, de hecho Lamarck planteaba también que lo inorgánico era el resultado de procesos en lo orgánico. Esta relación entre los seres vivos y lo inerte fue lo que inspiró pensar en el impacto del medio ambiente sobre los seres vivos al evolucionar.

4. Por último, la organización es la consideración teórica más importante en los textos de Lamarck, ya que orientaba sus clasificaciones y evidenciaba la distribución metódica y natural de los animales. Al comparar esta organización biológica lograba evidenciar los elementos (órganos) que componen las distintas partes de los organismos y también las relaciones (aparatos-sistemas) que se daban entre estos elementos lo que permitía y explicaba el funcionamiento integral de un ser vivo. Pero además de considerar

elementos y relaciones, también pensaba en el ser vivo como alguien insertado en la naturaleza, con la que desarrollara un sin número de interacciones.

Los cuatro puntos anteriores resumen las ideas principales de Lamarck que posibilitaron formular su teoría de la evolución. Es importante puntualizar que la potencia de estas ideas no se supedita a ser la base para la formulación del lamarckismo (corriente evolutiva fundamentada en los elementos teóricos de Lamarck), sino que son planteamientos que revolucionaron la visión de la biología como ciencia y como objeto de estudio (Gould, 2002; Ledesma, 2008; Sarukhán, 2008).

Al evidenciar el incremento en el nivel de complejidad en la organización de los organismos, mientras formaba grupos en sus clasificaciones, Lamarck elaboró una teoría de la evolución que es considerada como la primera propuesta coherente al respecto; porque plantea y ejemplifica ampliamente dos elementos teóricos importantes:

1. “La tendencia natural hacia la complejidad orgánica -y-
2. La influencia del ambiente como el factor responsable de todas las variaciones de esta norma.” (Ledesma, 2008:333)

El primer planteamiento afirma que los seres vivos en el transcurso del tiempo han evolucionado con una tendencia intrínseca hacia el perfeccionamiento, que se hace visible -según Lamarck- en la mayor complejidad que presentan los organismos que se presumen más recientes en el proceso evolutivo. El primer ejemplo que cita a este respecto es el hombre, quien cuenta con un número considerable de órganos que se relacionan para cumplir funciones tan complejas como las de generar pensamientos, ideas y sentimientos; funciones que lo hacen más complejo y por lo tanto más perfecto.

El segundo planteamiento, se refiere a la determinante influencia del medio como responsable de las variaciones en los organismos hacia el perfeccionamiento, a

respecto enuncia ejemplos como el oso hormiguero cuya trompa se modificó por la necesidad de alimento y las condiciones del medio donde encuentra a las hormigas.

En varias ocasiones, los postulados de Lamarck han sido mal interpretados (Gould, 2001; Ledesma, 2008; Sarukhán, 2008) al pensar que la evolución de los seres vivos ocurre por la acción de las circunstancias o el medio, lo que no responde a su idea medular. Lo cierto es que para este naturalista francés la evolución está asegurada y se manifiesta gracias a tres situaciones: las propiedades de los seres vivos, su organización y las circunstancias (Ledesma, 2008). La función del medio es solo perturbar al organismo, cambiando las circunstancias, lo que origina la adquisición de nuevas costumbres que actúan sobre la organización del animal:

“La tendencia intrínseca al perfeccionamiento será el factor determinante de la evolución orgánica, y el ambiente tan sólo tendrá el papel de modularla o conducirla hacia tal o cual sentido” (Ledesma, 2008: 338).

Lamarck (1809) plantea que las nuevas costumbres adquiridas por las alteraciones del medio pueden actuar de dos formas en los organismos: la primera fomentando el uso constante y sostenido de cierto órgano que se fortifica y desarrolla. La segunda manera de acción en los organismos es que la costumbre puede incidir en el desuso de cierto órgano que se verá debilitado y tenderá a desaparecer. En ambos casos de ocurrir estas modificaciones en seres de ambos sexos la nueva cualidad en la organización de los órganos es heredada a su descendencia; lo cual afirma en dos argumentos, que denomina leyes:

Primera `Ley`

“En todo animal que no ha ultimado el término de su desarrollo, el uso más frecuente y sostenido de un órgano cualquiera fortifica poco a poco este órgano, lo desarrolla, lo agranda y le da una potencia proporcional a la duración de este uso; mientras que la falta constante del uso del mismo órgano lo debilita sensiblemente, lo deteriora, disminuye progresivamente sus facultades y termina por hacerlo desaparecer” (Lamarck, 1809: 175)

Segunda `Ley`

“Todo lo que la naturaleza ha hecho adquirir o perder a los individuos con la influencia de las circunstancias a que su raza se encuentra expuesta desde hace mucho tiempo, por consiguiente bajo la influencia del empleo predominante de un órgano o por la de una falta constante de uso de tal parte ,lo conserva a través de la generación de los nuevos individuos que provienen de ella, mientras que los cambios adquiridos sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos” (Lamarck, 1809: 175).

Los ejemplos que Lamarck proporciona para apoyar los argumentos anteriores son múltiples: menciona organismos como la ballena y el oso hormiguero cuyos dientes han desaparecido porque tragan a sus presas sin masticar, que los ojos del *Spalax* (una rata-topo) se han atrofiado porque vive en la oscuridad subterránea, como el cuerpo de las serpientes se ha alargado y estirado porque acostumbran arrastrarse, o el tan citado ejemplo del cuello de las jirafas que se estiro por el uso ya que el alimento se encontraba en las copas de los árboles; estas modificaciones en la organización de los organismos son explicados por Lamarck diciendo que:

“Cuando la voluntad determina a un animal a una acción cualquiera, los órganos que deben ejecutar esta acción se ven conducidos por ella por la afluencia de fluidos sutiles (del fluido nervioso) que se convierten en causa determinante de los movimientos que la acción de que se trata exige...De esto resulta que las repeticiones multiplicadas de estos actos de organización fortifican, extienden, desarrollan e incluso crean los órganos que son necesarios.” (Lamarck, 1809: 194)

El argumento anterior evidencia la visión dualista que Lamarck sostiene en sus aseveraciones, el dualismo involucra a las dos corrientes de pensamiento manifestadas en los tiempos de Lamarck, que son el vitalismo y el mecanicismo -existían algunas otras corrientes de pensamiento pero estas eran las más representativas-(Ledesma, 2008). Por un lado, atribuye una `voluntad` en los organismos para determinar acciones en la organización de sus órganos con lo que hace referencia al vitalismo, corriente que sostiene la importancia de una fuerza vital en los seres vivos. Por otro lado, sostiene que las acciones son conducidas por la afluencia de fluidos `sutiles-nerviosos` lo que denota un apego al mecanicismo, corriente que pondera la funcionalidad mecánica de las cosas y seres.

Canguilhem (2008) explica que en la postura dualista de Lamarck la visión mecanicista queda sometida a un vitalismo no finalista, “pues a pesar de los cambios en las circunstancias el ser viviente está abandonando a su medio” (Ledesma, 2008: 342), siendo él quien se modifica con la finalidad de adaptarse. Es aquí donde aparece el concepto adaptación dentro de la teoría de Lamarck, pero con una connotación muy distinta a la atribuida en la teoría evolutiva actual, pues adaptarse es ‘transformar’ la organización del organismo fortificando, desarrollando, surgiendo o desapareciendo órganos a partir de las nuevas costumbres del cuerpo viviente originados por la presión del medio.

En ese sentido, la transformación -para Lamarck- además de conjugar elementos físicos sostiene una visión integral en la organización de un cuerpo viviente. De esta manera le atribuye la cualidad de transformarse a la organización, con lo que logra “unir al conjunto de los seres por una misma historia que da cuenta de su génesis sucesiva” (Ledesma, 2008: 344), esta consideración abrió el camino a pensar que las diferentes organizaciones de seres vivos no surgieron al mismo tiempo, sino de manera paulatina, escalonada, poco a poco todas las formas de vida, unas a partir de otras.

A manera de resumen, Ledesma (2008) considera tres elementos para explicar la teoría evolutiva de Lamarck: las inclinaciones, los hábitos y el sentimiento interior; conceptos que según importantes investigadores de la historia de la teoría evolutiva como Sarukhán (2008), han sido mal interpretado o distorsionados. La siguiente cita es un intento de cerrar esta sección con palabras propias de Lamarck, aclarando uno de los conceptos que ha sido mayormente mal interpretado o distorsionado; a causa de ello su teoría y aportaciones al campo de la biología en ocasiones se ven minimizadas y simplificadas:

“El sentimiento de existencia, que nombraré sentimiento interior, a fin de separarlo de la idea de una generalidad que no se puede tener, puesto que no es común a todos los cuerpos vivientes, es un sentimiento muy oscuro de que están dotados animales que tienen un sistema nervioso asaz desarrollado para darles la facultad de sentir...Este sentimiento... es muy potente, porque es la fuente de las emociones interiores que experimentan los individuos que lo poseen... que pone a los individuos en el caso de producir ellos mismos los movimientos y las acciones que sus necesidades exigen. Y ese sentimiento, considerado como un motor muy

activo, no actúa sino enviando a los músculos que deben operar esos movimientos y esas acciones el fluido nervioso que es su excitador” (Lamarck, 1809: 178).

3.2.3 La historia de un `mal´ estudiante y un socialista ignorado

En 1809 -el mismo año de la publicación de *Philosophia Zoologique* de Lamarck- nace en Shrewsbury, Inglaterra **Charles Darwin**. Quinto hijo de una familia aristócrata, queda huérfano de madre a la temprana edad de 8 años y a cargo del cuidado de su padre y hermanas mayores. Su buena posición económica le permite dedicarse a la ciencia; aunque esto era algo que él nunca habría imaginado, pues se describe a sí mismo como un niño `lento para aprender y travieso´; cualidades que no eran muy bien aceptadas por su padre que tenía grandes planes para su futuro. Al ser heredero de una cuna en la que se encontraban miembros de la Society Royal (su abuelo materno), médicos de reconocimiento local (su padre y abuelo paterno) y un gran naturalista reconocido en el mundo científico de la época (su abuelo Erasmus Darwin), Charles Darwin contaba con las herramientas esenciales para sobresalir y coloca una gran responsabilidad sobre sus hombros.

Inició su educación en una escuela de la localidad, donde pasó lo que el consideraba la peor experiencia intelectual de su vida; ya que tenía clases magistrales y poco estimulantes, por lo que prefería dedicar tiempo a largos paseos por los caminos de Shrewsbury, donde desarrollo lo que describe como una pasión e interés innato por la recolección y colección de un gran número de organismos -desde conchas de mar hasta un variado número de insectos y flora-. Pasión que se intensificó al crecer y complementó con actividades como la caza y pesca, que le permitían agrandar uno de sus mayores tesoros: su colección de organismos.

En 1825 Darwin ingresa por orden de su padre en la Universidad de Edimburgo para estudiar medicina. Su aversión por la sangre, enfatizada durante la experiencia de ver la operación de un niño (sin anestesia), más la incapacidad del profesorado de llamar su atención por medio de `lecciones magistrales, que resultaban intolerablemente aburridas´ y el convencimiento de que era un heredero que no necesita ser médico para vivir el resto de su vida con decoro, hizo que obtuviera un desempeño mediocre

en la carrera; lo que fue un duro golpe para su padre que explicitó con comentarios como `no te gusta más que la caza, los perros y coger ratas, vas a ser una desgracia para ti y para toda tu familia´.

A pesar de esos comentarios Darwin recuerda a su padre como un ser entregado y cariñoso que se ocupó de que su hijo no fuera un heredero ocioso. Así, después de ver el desempeño de Charles en dos cursos de medicina, le propone estudiar teología en el Christ's College de Cambridge. De manera que en 1828 después de aclarar sus convicciones eclesiásticas y hacer un repaso de los clásicos -con la ayuda de un profesor privado-, Darwin inicia su formación en Cambridge, en su vejez Charles encontró cómico que alguna vez considerará ser clérigo, siendo que fue tan duramente criticado por ellos al publicar *El Origen de las Especies*.

Al igual que en Edimburgo, Darwin dedicó el tiempo a cosas diversas como la caza, montar a caballo, largos paseos, recolección y cenas con amigos más que al estudio “durante los tres años que pasé en Cambridge desperdiicé el tiempo tan absolutamente como en Edimburgo y en la escuela, en lo que a los estudios académicos se refiere” (Darwin, 1993: 9), formando parte de una pandilla de jóvenes `mediocres´ y `relajados´. Asistía obligado a sus clases y sólo encontraba hastío y aburrimiento por el trabajo, hasta que descubrió una clase voluntaria de botánica que cambió el rumbo de su vida. La cátedra era impartida por el apasionado profesor Henslow que poseía grandes conocimientos de botánica, entomología, química, mineralogía y geología; que pronto compartió con Darwin en largas charlas, dando inicio a una entrañable amistad.

Darwin reconoce en Henslow al responsable de su inclinación hacia las ciencias como la geología y la botánica; pero sobre todo por darle un giro a su vida al recomendarlo como naturalista/acompañante para un viaje de exploración alrededor del mundo en un barco de guerra nombrado *Beagle*. Al conocer la noticia su padre en principio se opuso, pero fue el tío de Charles Darwin -y futuro suegro- Josiah Wedgwood quien logró convencer al padre de Darwin de aceptar la travesía. Así el 27 de diciembre de 1831 el

Beagle zarpó de Davenport con Darwin a bordo y dispuesto a comenzar la que él llamó su `segunda vida`.

Fitzroy -el capitán del buque de guerra *Beagle*-, tenía como objetivo completar el estudio topográfico de los territorios de la Patagonia y la Tierra del Fuego, el trazado de las costas de Chile, Perú y algunas islas del Pacífico; así como la realización de una cadena de medidas cronométricas alrededor del mundo. El viaje -de casi cinco años de duración- llevó a Darwin a lo largo de las costas de América del Sur, para regresar luego -durante el último año- visitando las islas Galápagos, Tahití, Nueva Zelanda, Australia, Mauricio y Sudáfrica. Durante ese período su carácter experimentó un profundo cambio. La antigua pasión por la caza sobrevivió los dos primeros años y fue él mismo quien se encargó de disparar sobre los pájaros y animales que pasaron a engrosar sus colecciones. No obstante, poco a poco, esta tarea fue quedando encomendada a su criado a medida que su atención resultaba cada vez más absorta por los aspectos científicos de su actividad.

Aspectos científicos que fueron puestos en juego por la influencia de la obra de Lyell sobre los *Principles of Geology* -cuyo primer volumen llevaba consigo en el viaje- y cambió la perspectiva de observación de Darwin ante fenómenos como las erupciones volcánicas o el surgimiento de nuevas islas. El viaje del *Beagle* transcurrió entre periodos en los que Darwin recorría a pie algunas zonas para recolectar y observar gran cantidad de fenómenos -sobre todo a principio de la travesía- y porque el movimiento del barco en altamar le provocaba grandes molestias de salud.

El 02 de octubre de 1836 el *Beagle* regresa a Inglaterra con un Darwin totalmente cambiado: poseedor de un grado de observación crítico digno de los mejores investigadores, un gran número de anotaciones en sus bitácoras de observación y diarios, variados organismos recolectados -además de los que había enviado a Inglaterra durante el viaje- y con una salud sumamente mermada.

Los primeros años después de su regreso se dedicó a descansar y arreglar sus anotaciones para poder publicar sus diarios del viaje en el *Beagle*, aunque gran parte del tiempo lo pasó indispuerto por sus enfermedades -historiadores como Sarukan (2008) reconocen cierto grado de hipocondría en Darwin-. Una tarde en la que quería alejarse de su producción literaria Charles decide visitar una biblioteca local en Londres y se encuentra con el ensayo sobre las poblaciones de Thomas Malthus; este encuentro representa uno de los momentos esenciales en la construcción de su teoría evolutiva, pues le sugiere la idea de los recursos ambientales son limitados mientras que los seres vivos se reproducen de manera ilimitada por lo que se presenta una lucha por los recursos, asunto que pone a circular en su cabeza algunas de las ideas que expondrá después en su principal obra 'El Origen de las especies'.

En 1839 se casa con su prima Emma Wedgwood -el mismo año que comienza a pertenecer a la Society Royal- con quien procrea diez hijos, de los cuales mueren tres durante la infancia. Su matrimonio es apacible igual que el resto de su vida pues la pasa casi en el retiro social a causa de su delicada salud; a pesar de la cuál produce interesantes obras que dan a conocer la naturaleza de lo encontrado en el viaje del *Beagle* y lo posicionan como uno de los naturalistas más importantes de su tiempo. A raíz de este reconocimiento y de que solicita la revisión de algunos de sus trabajos, inicia una estrecha amistad con Lyell y Hooker a quien describe como sus entrañables amigos y mejores críticos.

Darwin se muda a Down buscando la tranquilidad del campo por su salud y para poder dedicarse a sus trabajos. Durante sus primeros años completa su redacción sobre sus trabajos geológicos y una nueva versión de su diario de viaje. Es visitado frecuentemente por Lyell y Hooker quienes lo alientan a producir y revisan su obra. De 1846 a 1854 se ocupa de la redacción de sus monografías sobre cirrópodos lo que le da el rango de 'reconocido naturalista'.

En 1856 Lyell lo alienta a comenzar a redactar sus ideas sobre la evolución, lo que hace en un tomo descomunal que para Darwin representaba sólo un resumen. En 1858

recibe el ensayo de un joven naturalista que contenía una breve pero clara exposición sobre la teoría de la evolución por selección natural, con la que Darwin se identificaba claramente, pero ¿quién era el autor?. En este momento se cruzan con mayor profundidad los caminos del `mal´ estudiante Charles Darwin y el socialista ignorado Alfred Russell Wallace.

En 1823 en la cuna de una familia pobre nace el octavo hijo de Thomas Vere Wallace y Mary Anne Greenell, nombrado **Alfred Russell Wallace**, en la villa galesa de Llanbadoc -aunque nace en Gáles, a Wallace se le considera inglés porque su madre lo era y desde muy temprana edad se muda a Londres-. Su madre era perteneciente a una familia de clase media inglesa, mientras que su padre era una de las familias escocesas que aseguraban estar relacionado con William Wallace el líder de la guerra de independencia de Escocia.

A los cinco años Wallace se muda a Hertford -al norte de Londres-, donde estudia en Hertford Grammar School hasta que por malas inversiones y negocios fallidos la herencia de su padre es mermada y tiene que abandonar la escuela. Se muda a Londres con su hermano mayor y aprende un poco del oficio de constructor. La vida en Londres le permite asistir a un gran número de conferencias sobre mecánica y reformas sociales propuestas por Owen y Paine, tema al que le declara gran interés. Después se muda con otro de sus hermanos mayores -William- para trabajar como aprendiz de agrimensor durante seis años en Herefordshire -en la frontera con Gales-.

Entre 1840 y 1843 Wallace trabaja como agrimensor en una campaña galesa y al oeste de Inglaterra, hasta que el negocio cae y decide dejarlo para trabajar como maestro de dibujo, cartografía y agrimensura en Collegiate School de Leicester. Wallace mantenía un apasionado gusto por el autoestudio y asistía constantemente a la biblioteca de Leicester donde pudo leer el ensayo sobre las poblaciones de Thomas Malthus y conocer al que se convertiría en su gran amigo Henry Walter Bates. Bates era un joven dedicado a la recolección de los insectos, inquietud que enseñó e inspiró a Wallace.

A la muerte de su hermano William en 1845, Wallace abandona su trabajo de maestro y se pone al frente del negocio de agrimensor, pero sin mucha suerte. Por ello decide - junto a su hermano John- darle un giro hacia la ingeniería civil y la arquitectura, que eran más vendibles en ese tiempo. El negocio funciona y tienen varios proyectos que les permiten tener mayor solvencia económica. Uno de esos proyectos fue el diseño del Instituto de Mecánica de Neath, proyecto que impresionó al fundador del instituto al grado de contratar a Wallace como conferencista sobre ciencia e ingeniería. Durante este periodo Wallace lee textos como *Vestiges of the Natural History of Creation* de Chamber -cuya idea del origen evolutivo del sistema solar y la Tierra lo influyeron de manera contundente-, El Viaje del Beagle de Darwin y *Principles of Geology* de Lyell, entre otras obras.

Inspirado en viajes de naturalistas como Humbolt y Darwin, Wallace planea junto a su amigo Bates un viaje de exploración a Brasil en 1848 a bordo del *Mischief*. Aunque la intención esencial del viaje era la recolección de insectos también esperaban tener evidencias de la transmutación de las especies; idea que circulaba en la mente de Wallace a raíz de leer textos como el de Chamber, Lamarck y Erasmus Darwin. Por ello, planeó deliberadamente algunos de sus trabajos de campo para probar hipótesis sobre evolución, cayendo en cuenta con ello de aspectos como las barreras geográficas y su influencia en la distribución de especies, entre otros.

El primer año del viaje Wallace y Bates recolectan juntos y después por separado, pues sólo se reunían para compartir observaciones. Posteriormente se unen a ellos el hermano menor de Wallace, Herbert y Richard Spruce. Herbert regresa a Inglaterra, Bates y Spruce pasarían diez años más investigando América del Sur y Wallace continúa su exploración en el río Negro durante cuatro años más. En esos años se centró en la recolección de especímenes y toma de notas sobre las poblaciones humanas, sus lenguas y cultura.

En 1852 se embarca rumbo a Inglaterra en el bergantín *Helen*, donde después de 28 días se inicia un incendio que obliga a la tripulación a abandonar la nave. Todos los

especímenes de cuatro años de recolección se pierden, Wallace solo logra salvar algunos de sus diarios. Tras pasar 10 días a la deriva la tripulación es rescatada por otro bergantín, el *Jordenson*.

A su regreso a Inglaterra, Wallace solo contaba con sus notas y algunos especímenes que envió a casa desde el viaje para solventar sus gastos, por lo que pasó 18 meses viviendo del seguro de sus especímenes perdidos hasta que escribe seis ensayos y dos libros: *Palm Trees of the Amazon and Their Uses* y *Travels on the Amazon*. En esta etapa comienza a tener correspondencia con naturalistas reconocidos, entre ellos Charles Darwin.

En 1853 publica *On the Monkeys of the Amazon* donde se cuestiona la posibilidad de que algunas especies estén relacionadas sólo que fueron separadas por una extensión de terreno, exponiendo sus primeras ideas claras respecto a la evolución. En 1844 inicio un viaje por el Archipiélago Malayo recolectando especímenes para su venta y análisis. En la isla Borneo publica en 1855 *On the Law Which has Regulated the Introduction of Species* donde enumera y recopila observaciones generales que se relacionan con la distribución geográfica de especies donde plantea que cada especie ha existido coincidiendo en el espacio y en el tiempo con especies estrechamente relacionadas. Con lo anterior, expone uno de los supuestos principales de la evolución - la interrelación de las especies y su especiación por presiones del ambiente como el aislamiento geográfico- pero no menciona un mecanismo por el que ocurra.

En 1856 Darwin leyó el artículo de Wallace (Sobre la ley que ha regulado la introducción de nuevas especies) pero pensó que no planteaba nada nuevo y contestó que compartían muchos puntos en común -como la transmutación de los organismos-, pero que consideraba que él iba más adelantado. Wallace confiaba fielmente en el juicio de Darwin por ello en 1858, aun recuperándose de un episodio de fiebre durante el que Wallace ha dicho que entendió el mecanismo de la evolución, le envía a Darwin una carta que incluía su ensayo *On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely From the Original Type* donde expone un mecanismo de evolución que si bien no

menciona las palabras `selección natural` es muy similar a las ideas de Darwin. En la carta Wallace le pedía a Darwin que revisará su ensayo y de considerar que valía la pena lo enviara a Lyell.

El cruce de ideas evolutivas de Darwin y Wallace se presenta con mayor importancia en el momento en el que Darwin reconoce en los planteamientos de Wallace su propia teoría. Por ello, -y ante la insistencia de Lyell- realiza un resumen de su propia teoría y ambos ensayos son leídos por Lyell en la *Linnean Society*, sin levantar un gran interés en el público. Wallace agradece a Darwin el reconocimiento que da de aquí en adelante a su trabajo y se convierte en uno de los mayores defensores de la teoría de la evolución por selección natural que Darwin plantea con mayor extensión y argumentación en su libro *On the Origin of Species by means of Natural Selection*; que se convierte en la mayor obra del naturalista inglés.

El resto de la historia de Wallace continúa con tono dramático, pues a su regreso del Archipiélago Malayo tiene una gran producción entre la que se incluyen conferencias, exposiciones sobre sus colecciones y arreglo de notas para sus futuras publicaciones. Se casa en 1866 con Annie Mitten con quien procrea tres hijos, uno de los cuales muere en la infancia. Su vida se caracteriza por altibajos económicos; aunque en 1869 publica *The Malay Archipelago* considerado un éxito literario, las ganancias las invierte mal y la preocupación por el bienestar financiero de su familia lo hace escribir ensayos a bajos precios y editar trabajos. La estabilidad económica de Wallace se presenta hasta que por intervención de Darwin el gobierno inglés le otorga una pensión por sus contribuciones a la ciencia.

Además de las contribuciones a la ciencia, Wallace es recordado por las fervientes participaciones que tuvo en el activismo social: forma parte de dos organizaciones *Land Tenure Reform Association* y la *Land Nationalisation Society* -en la que es elegido presidente en 1881-. Desde 1873 y hasta dos semanas antes de su muerte escribe artículos sobre asuntos sociales y políticos en los que trata temas como las políticas

internacionales, la necesidad de una reforma agraria, el librecambismo, los peligros e inutilidad del militarismo y el sufragio femenino.

Wallace muere en 1913 a los 90 años en su casa de campo siendo recordado y reconocido por Inglaterra. No obstante, las páginas de la historia de la biología han restado importancia a este socialista empedernido ignorando su aportación a la construcción de la teoría de la evolución: por ello lo consideramos el socialista ignorado.

Sobre el resto de la historia de Darwin, a pesar de la polémica despertada por `el Origen de las Especies´, vive el resto de su vida en su apacible casa en Down siendo defendidos sus argumentos por amigos y admiradores. Publica algunos textos más como *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex* y *The Expression of the Emotions in Man and Animals*; y dedica el resto de su vida a cuestiones de botánica. Muere en 1882 de un ataque cardíaco, sus restos descansan en la Abadía de Westminster y su memoria en todos los libros de biología del mundo.

3.2.4 El Origen de las Especies

*“Con unas facultades tan ordinarias como las que poseo,
es verdaderamente sorprendente que haya influenciado en grado
considerable las creencias de los científicos”*
Charles Darwin (1993: 19)

Desde su publicación el 24 de noviembre de 1859 la obra más importante de Charles Darwin se agotó, si bien era un libro escrito para el público culto de esos tiempos ahora se ha convertido en uno de los textos necesarios para quien desee adentrarse al mundo de la biología. Con múltiples ediciones (seis en vida de Darwin, diez en total hasta nuestros días) `El Origen de las Especies´ es uno de los fenómenos literarios en la historia de la biología más importantes. Pero ¿Qué argumentos esbozaba dicho libro para ser tan potente? La respuesta la encontraremos en los siguientes párrafos que intentan ser una humilde puntualización de los aspectos generales que se encuentran plasmados en esa obra.

Durante el viaje que realizó por más de cinco años Charles Darwin en el *Beagle*, reunió innumerables observaciones, acerca de las variedades de las especies en la naturaleza. Lo anterior, por la influencia que tuvo al intercambiar correspondencia con zoólogos, botánicos y paleontólogos, así como con criadores de plantas y animales domesticados cuyos métodos empíricos de selección, fueron una fuente crucial de inspiración para él.

Del mismo modo, sus experimentos y trabajo con percebes²⁰ así como el caso de los pinzones de las islas Galápagos, lo convencieron de la variedad que ocurre en las poblaciones de organismos vivos y la lectura del ensayo de Thomas Malthus (Malthus, 1798) sobre el crecimiento ilimitado de las poblaciones y el crecimiento limitado de los recursos, le hizo plantear -al mismo tiempo que Wallace- el principio de evolución por **selección natural**, también nombrada corriente darwinista.

Lo que llamamos la teoría darwiniana de la evolución, es un conjunto de planteamientos propuestos por primera vez por Darwin en un resumen del *El Origen de las Especies* (Darwin, 1858) y Wallace en *On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely From the Original Type* (1858) y presentados en la Linnean Society por Lyell. Después Darwin -en extenso- publica sus planteamientos centrales como: la demostración del **hecho de la evolución**, la teoría del **origen único** de todos los organismos pasados y presentes, que los procesos que generaron la evolución **siguen operando** actualmente, que el **proceso es lento y gradual** y produce divergencia y por lo tanto continuamente, nuevas especies, así como la teoría de la selección natural, en su obra *On the Origin of Species by means of Natural Selection* en 1859.

En su obra, Darwin definió a la evolución como un proceso de **descendencia con modificación**, argumentando que por medio de la **reproducción**, se genera un exceso de organismos de una determinada **población** en un **ambiente** que es limitado en sus recursos y no puede sostenerlos a todos. Como la reproducción genera constantemente organismos con **variedad heredable en sus caracteres** (a través de mecanismos como la **mutación y la recombinación genética**), la consecuencia

²⁰ Especie de crustáceos que Darwin encontró en las Islas Galápagos.

directa es la selección natural: **sobrevivirán** con más probabilidad aquellos organismos que posean características que les permitan sobrevivir mejor o explotar mejor los recursos y por lo tanto reproducirse más eficazmente (a esto se llama **eficacia biológica relativa**). Es decir, aquellos individuos que se reproduzcan más porque poseen características genéticas que se lo permiten (reproducción diferencial), transmitirán con más eficacia sus características a la siguiente generación y de esta forma, la composición de la población irá cambiando a lo largo del tiempo.

Este proceso tiene como consecuencias la **adaptación** continua de las poblaciones a sus ambientes y la **divergencia** de las mismas en ambientes disímiles, produciéndose continuamente nuevas especies. La idea de la ancestralidad común, surge así mismo del razonamiento previo: a medida que nos remontamos hacia el pasado, el número ancestral de los organismos actuales debe haber sido cada vez menor, hasta encontrarse en los orígenes de la vida, un **ancestro común** a todos.

Como el proceso evolutivo es necesariamente lento y gradual, debe haberse iniciado hace muchísimo tiempo, por ello la edad de la Tierra debe ser muy superior a lo que se creía en tiempos previos a Darwin (que es de unos 4.500.000.000 años en comparación con los 6000 años que le atribuían). Un elemento fundamental que plantea Darwin es el **pensamiento poblacional** que es la base de toda la biología moderna, pues en sus tiempos la visión central era el clásico **pensamiento tipológico**.

“El hombre aún lleva impresa en su estructura corpórea la huella indeleble de su humilde origen...”

Charles Darwin (1989: 234)

3.2.5 Teoría sintética de la evolución

Con el redescubrimiento en el siglo XX de los principios mendelianos publicados por el Abad Gregor Mendel (1822-1884) en 1865, se produce una ampliación del poder explicativo de las teorías darwinianas -y la teoría genética moderna-, ya que el descubrimiento de transmisión de genes brinda las bases para entender los principios por los que se regula la evolución de las especies: **la recombinación genética y la**

mutación; asunto que quedó pendiente en los planteamientos de Darwin.

No obstante, aunque conceptos como **mutación** -inmersos en un boom por la genética- a principios de siglo XX intentaron reemplazar a la **selección natural** como factor elemental en la evolución, fue con el planteamiento de la genética de poblaciones y herramientas matemáticas que apoyaban las ideas poblacionales de Darwin que se asentó la concepción científica de **evolución** como **cambio en la genética de las poblaciones**. Así las tecnologías del siglo pasado permitieron confirmar la importancia de la selección natural en el proceso evolutivo.

De ahí que, la teoría sintética de la evolución, síntesis moderna o neo-darwinismo, surge al unir los planteamientos clásicos de Darwin, con la genética de poblaciones y al integrar distintos aportes de ramas científicas como la genética, paleontología, etc. Los principales promotores de la síntesis moderna fueron Theodosius Dobzhansky (1900-1975) (Dobkznasky, 1937) que demuestra la evolución como fenómeno observable (cambio de frecuencias génicas) en experimentos de laboratorio y campo con especies de moscas drosophila. Sobre las bases matemáticas de la genética de poblaciones se establecieron por *Sir* Ronald Fisher (1890-1962), J.B.S. Haldane (1892-1964) y Sewall Wright (1889-1988). Otros que aportaron a la teoría sintética fueron Ernst Mayr desde el área de la sistemática zoológica (Mayr, 1904-2005), George Gaylord Simpson (1902-1984) desde la paleontología, Michael J.D White (1910-1983) con su aporte desde el área de la citogenética y George L. Stebbins (1907-1998) desde la botánica.

La síntesis moderna define a la evolución como **el cambio de un linaje de poblaciones a través del tiempo; involucra cambios morfológicos, fisiológicos, etológicos, moleculares y de desarrollo, con base genética**. Esos cambios obedecen a cambios de las frecuencias de los genes que codifican dichos caracteres y están sujetos a la selección natural que actúa por reproducción diferencial -en cuyo caso son adaptativos-, a la **selección sexual** -en cuyo caso solo se relacionan con la **reproducción**- o procesos estocásticos como la deriva genética -en tal caso, ocurren por **azar**-.

La fuente de la variedad hereditaria

A partir de las últimas décadas del siglo XX -y hasta nuestros días- el desarrollo de la genética ha favorecido la comprensión de los mecanismos de la evolución. Ahora se conocen con precisión las características del material genético (**ADN o ARN**) donde se encuentra contenida la información hereditaria, de manera que son la fuente de variedad genética que ocurre en la naturaleza.

Las variaciones heredables se generan a partir de la reproducción -ya sea sexual o asexual-. Durante **la reproducción sexual** los materiales genéticos de ambos individuos se recombinan originando variaciones en cada uno de sus descendiente, algunas de ellas serán favorecidas por el ambiente y se les observa a lo largo del tiempo. En el caso de la **reproducción asexual** el material genético se replica conservando las moléculas hereditarias (ácidos nucleicos), tanto de ADN -en la gran mayoría de los organismos- o de ARN -en algunos virus-; lo que tiene sentido evolutivo al pensar que la selección natural favorece ciertas variaciones que resultan adaptativas, por ello interesa que se conserven en las futuras generaciones.

Así al paso del tiempo, la selección natural ha perfeccionado los mecanismos enzimáticos cada vez más sofisticados y complejos para replicar las moléculas hereditarias y también para protegerlas de daños o lesiones; pero el proceso es tan complejo que no está exento de errores y como consecuencia surge la fuente básica de variedad genética: **la mutación**.

Una **población** se encuentra compuesta de organismos que ocupan un mismo espacio natural, cada organismo porta miles de genes heredados de sus progenitores, a su vez cada **gen** puede tener decenas o cientos de variantes (**alelos**) surgidos por mutación, que se combinan de forma casi infinita a través de la **recombinación genética**. A consecuencia de ello, encontramos incontables variaciones de **genotipos**, que es una variedad a nivel genética que se manifiesta, después en variedad a nivel fenotípico, a nivel de comportamiento, a nivel de morfología, bioquímico, molecular, etc., para producir individuos con distintas eficacias biológicas, y por lo tanto, evolución.

Variabilidad, selección natural y adaptación

La evolución por **selección natural** tiene como consecuencia primordial la **adaptación**. Y es que llama la atención que todos los organismos parecen encajar perfectamente a nivel morfológico o fisiológico en sus respectivos ambientes naturales; lo que es el resultado de un largo proceso evolutivo, en que las **presiones ambientales** y la **variabilidad** genética preexistente han ido produciendo un ajuste cada vez más pronunciado al entorno por los vaivenes del **azar** y las **alteraciones ambientales**.

De ahí que, las variaciones del ambiente inciden directamente en la producción de distintos genotipos, producidos por el proceso de reproducción que genera variación, lo que se traduce en organismos adaptados a distintos subambientes o situaciones temporales, lo que a su vez genera **divergencia** desde el punto de vista evolutivo. Lo anterior, podría indicar que la **adaptación** junto a la **selección natural** y la **ancestralidad común** de los organismos son las tres propuestas primordiales del trabajo de Darwin, ya que nos conducen a explicar la gran variedad de especies existentes en la Tierra.

Especie

El problema teórico inicial en el que incidió la obra de Darwin -y su posterior síntesis junto a la genética-, es ¿por qué existe un número tan extenso de especies en el planeta?, su respuesta fue la evolución por **selección natural** a partir de un **ancestro común**. No obstante, para comprender a qué se refiere Darwin en tan complejo enunciado se debe partir de la apreciación inicial de ¿qué es una especie?

El concepto especie resulta ser uno de los más complejos en el área de la biología y es constantemente discutido por los especialistas. En ese sentido el concepto más clásico y utilizado actualmente es el que argumentan Mayr (1942; 1970) y Dobzhansky (1937, 1970) donde una **especie** es una comunidad reproductora en la que todos los individuos pueden cruzarse real o potencialmente entre sí, y están aislados reproductivamente de otras entidades similares. El **aislamiento reproductivo**, es esencial a este concepto (Dobzhansky, 1970; Mayr, 1970) y debe interpretarse como

una limitación total o severa del flujo génico entre dos especies en la naturaleza, aunque no implica la imposibilidad de cruce ocasional o hibridación. Sabemos que los caballos y los asnos ocasionalmente se cruzan produciendo híbridos estériles (mulas), por lo que efectivamente el flujo génico entre las dos especies está imposibilitado; por tanto, son buenas especies biológicas.

No obstante, existe un problema con este concepto de especie, ya que no aplica en organismos asexuales, pues la cruce e intercambio genético es inconcebible en estos seres. Un concepto de especie más integrador es el de cohesión (Templeton, 1989), que incluye mecanismos demográficos o ecológicos -además de genéticos- que pueden dar coherencia interna a un grupo de poblaciones separándolas de otros grupos similares, permite su aplicación a seres asexuales y otras, a las que es difícil o imposible aplicar la versión anterior.

La complicación de caracterizar el concepto especie es que está ligado directamente con el término población -pues las especies se encuentran inmersas en las poblaciones-, y la dinámica de una población sexual y la de una asexual son absolutamente diferentes: en un caso hay continua recombinación genética por vía reproductiva, y en el otro, el intercambio genético entre los individuos es nulo u ocasional. Así, una población asexual está formada básicamente por clones de individuos **genéticamente idénticos** que se han reproducido -por ejemplo las bacterias por fisión replicando su cromosoma y dividiendo su célula-. Mientras que en la reproducción sexual se tienen un sin número de interacciones reproductivas entre los individuos, que genera un continuo intercambio de genes, intercambio que asegura que no habrá individuos genéticamente idénticos. De manera que la dinámica y genética de poblaciones es muy distinta en estos casos.

Una realidad es que se conoce más sobre la dinámica y genética de poblaciones de reproducción sexual, ya que son organismos más visibles con los que estamos en contacto directo e inclusive pertenecemos a ellos por el tipo de reproducción que tiene el *homo sapiens sapiens*. En cambio la reproducción asexual es un área menos

desarrollada (Curtís *et al.*, 2011).

En este texto manejaremos el concepto de **especie** como una comunidad reproductora que se encuentra aislada reproductivamente de otra, compartiendo un espacio geográfico y ecológico que le da coherencia y consistencia como grupo.

Variabilidad genética

Un elemento esencial para comprender el fenómeno de la evolución biológica es la variación. Las variaciones dentro de una población inmersa en la naturaleza son de varios tipos, pero deben poseer base genética, por lo tanto ser heredables. Esta variabilidad se origina por la recombinación genética y mutación durante la reproducción, sus tipos son: variedad intraindividual, variedad individual, polimorfismos, politipismos, variedad geográfica, variedad bajo domesticación y variedad entre especies. No obstante, aunque son distintas variabilidades no son cualitativamente diferentes, ya que todas se deben al mismo proceso básico y los grados de diferenciación son cuantitativos; y por lo tanto, son necesarias para que se existan procesos como la selección natural y la adaptación.

La variedad individual se debe no sólo a que los individuos poseen diferentes genotipos, sino a que cada genotipo interacciona durante el desarrollo individual de forma diferencial con los distintos ambientes que va encontrando durante el desarrollo. El mismo genotipo tiene la capacidad de mostrar distintos fenotipos bajo diferentes historias ambientales. Esta situación también ocurre a nivel intraindividual, ya que si bien todas las células de un organismo poseen idéntico genotipo, las interacciones individuales de las células con factores microambientales, determinan su desarrollo.

La variedad intraindividual es mayor en los organismos de reproducción sexual que en los asexuales, ya que en los primeros la recombinación genera una impresionante **variabilidad potencial** en cada generación. Así, la existencia de muchos alelos en cada locus génico y la recombinación de los mismos durante la meiosis, hace que las poblaciones naturales posean cantidades inmensas de **variabilidad genética**, como

las técnicas moleculares actuales han demostrado. Esta variabilidad, se refleja en la existencia de polimorfismos y politipismos genéticos, que se manifiestan a diferentes niveles fenotípicos, desde el molecular al morfológico.

La implicación de la geografía en el origen de las especies

Las frecuencias de estos polimorfismos y politipismos, a su vez generan diferencias geográficas entre poblaciones de la misma especie y que en algunos casos, los genetistas llaman razas biológicas y los taxónomos, subespecies. Sin embargo, las diferencias entre razas o subespecies son de la misma naturaleza que las diferencias entre individuos de la misma población. El no considerar este concepto fundamental y la falta de una aproximación poblacional, llevó a definir muchas razas de animales y plantas como especies exitosas y aún considerar razas a morfos individuales de una población polimórfica (Dobzhansky, 1970). En muchos casos, las diferencias interindividuales en una población, son mayores que las diferencias entre poblaciones de la misma especie.

Los politipismos son de gran importancia para las poblaciones naturales pues por un lado, la gran diversidad permite plasticidad y homeostasia genéticas ante los cambios ambientales; pero además, es la base de la divergencia evolutiva. Distintos genotipos de una población original, que se fragmenta geográficamente, pueden ser seleccionados naturalmente porque resultan adaptativos a los nuevos ambientes, iniciando la divergencia racial. A veces, la propia selección natural o la deriva genética, pueden fijar un determinado alelo en una población, y uno alternativo en otra, generando un politipismo, especialmente si la población es pequeña.

La diversificación es una de las primeras etapas en el proceso de especiación, es decir, en la generación de nuevas especies según el modelo más aceptado pues el aislamiento geográfico puede favorecer la divergencia genética hasta la aparición de mecanismos de aislamiento reproductivo que hagan que, ante un eventual contacto secundario de ambas poblaciones, el flujo génico haya sido total o severamente interrumpido, con lo que la selección natural favorecerá sistemas cada vez más

poderosos de aislamiento, hasta que se alcance el estado de especies plenas.

3.2.6 Modelo Científico Experto (MCE) de evolución biológica

La revisión histórica anterior permite ubicarnos en el contexto de la teoría de la evolución biológica; en particular el último apartado -donde se presenta la teoría sintética de la evolución, que es la aceptada por la ciencia erudita actualmente- nos posibilita identificar los elementos centrales, las relaciones y las condiciones que subyacen en la teoría evolutiva y que nos permitirán elaborar el modelo. Los elementos centrales, las relaciones y las condiciones se han identificado mediante el mismo proceso mediante el que inferimos el modelo cognitivo de las concepciones alternativas.

En ese sentido, durante la exposición de la teoría de la evolución biológica -en la sección anterior- se resaltaron en negrillas las que hemos identificado como los elementos centrales, las relaciones y las condiciones que dan estructura al modelo científico experto (MCE) sobre evolución biológica, ya que este modelo teórico explica -entre otros- el fenómeno de la variedad morfológica de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, que es el fenómeno de referencia de la presente tesis.

Los elementos, relaciones y condiciones del MCE se han estructurado en Tabla 11 en tres columnas: en la primera columna encontramos los elementos centrales del MCE y en la segunda las relaciones que se entablan entre ellos y dan cuerpo a la teoría de la evolución biológica y en la tercera las condiciones. Como se puede leer los elementos de la teoría de la evolución biológica son cinco, mientras que las relaciones son veinte y las condiciones tres; lo que implica una relación entre los elementos centrales y las relaciones de 4 a 1 -el número de relaciones es en promedio cuatro veces más que el número de elementos-, es decir, cada entidad central supone la existencia de 4 relaciones. Con lo anterior, podemos afirmar que la complejidad del MCE se encuentra dada por la gran variedad de relaciones que se entablan entre los elementos centrales de la teoría, más que por el número de elementos en sí mismos; y que en esta interacción entre elementos y relaciones son tres las condiciones que guían el modelo

teórico.

Ahora bien, de revisar el apartado de la teoría sintética de la evolución podríamos encontrar un mayor número de relaciones entre los elementos del MCE que los enunciados en la Tabla 11; no obstante decidimos trabajar con los ahí citados por dos razones principales: la primera es que los elementos, relaciones y condiciones enlistados son suficientes y necesarios para construir un MCE, de abordaje de manera global y completa el fenómeno de la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo. La segunda razón, es que las relaciones que se dejó fuera complejizan más el modelo y se conectan en gran medida con genética para explicar asuntos de variabilidad de modo muy peculiar y especializado.

Además no podemos dejar de lado que la finalidad de elaborar el MCE es más como punto de referencia para la construcción de MCEA, que para mostrar una imagen muy especializada de la teoría evolutiva de tal complejidad que solo sería entendida por especialistas.

Tabla 11. Elementos, relaciones y condiciones del MCE.

<i>Modelo Científico Experto de la evolución biológica</i>		
<i>Elementos</i>	<i>Relaciones</i>	<i>Condiciones</i>
1. Población 2. Especie 3. Ancestro común 4. Ambiente 5. Individuo	1. Cambio (morfológico, fisiológico, genético, molecular) 2. Dinámica de poblaciones 3. Reproducción diferenciada (sexual-asesual) 4. Variedad (intraindividual, heredable, geográfica, entre especies, potencial y genética) 5. Adaptación 6. Selección sexual 7. Selección natural 8. Lucha por sobrevivencia 9. Especiación 10. Principios mendeliano 11. Aislamiento 12. Deriva genética 13. Presión 14. Linaje 15. Descendencia 16. Eficacia biológica 17. Divergencia 18. Recombinación 19. Mutación 20. Selección artificial	1. Tiempo geológico 2. Azar 3. Recursos limitados

En la Tabla anterior encontramos los elementos, relaciones y condiciones del modelo científico experto que explica el fenómeno de la variedad de las formas de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, el elaborar una representación de este modelo podría ser muy complejo en este momento ya que se distinguen entre sus elementos constitutivos dos niveles: el macroscópico y el microscópico; en cada uno de los niveles ocurren procesos que permiten explicar el fenómeno de referencia, a continuación se enuncian las partes constitutivas y se representan ambos niveles del modelo gráficamente.

En el nivel macroscópico se ubican elementos como población, ambiente y ancestro común; las relaciones que se encuentran en este nivel del modelo son: cambio (molecular, genético, morfológico y fisiológico), lucha por la sobrevivencia, mutación, selección natural, descendencia, aislamiento geográfico y divergencia; mientras las condiciones son las tres encontradas en el modelo: el tiempo geológico, la dirección azarosa y los recursos limitados. La figura 7 representa el modelo macroscópico de la evolución biológica, en los elementos centrales han sido colocados en figuras geométricas con la finalidad de diferenciarlos (rectángulo para población, ambiente y ancestro común); las relaciones aparecen uniendo los elementos con una flecha para enfatizar el tipo de interacción que señalan y las condiciones aparecen a travessando al modelo científico experto.

El MCE macroscópico utiliza los ejes X para indicar la condición de tiempo geológico en avance continuo y Y indicando el aumento de complejidad orgánica en este proceso, el resto del cuadrante se refiere a la entidad ambiente, donde las poblaciones -otra entidad- se encuentran inmersas (desde la primera con la entidad del ancestro común), en una dinámica ambiente-población constante y responsable de la evolución. Al fondo una flecha traslúcida indica la condición de dirección azarosa de la evolución biológica.

Si realizamos una lectura global del proceso evolutivo que representa el MCE macroscópico, la evolución queda expresada como un conjunto de cambios a lo largo del tiempo geológico que ha generado -y genera- un gran número de poblaciones. La

flecha traslúcida también indica el paso de un ancestro en común a un gran número de especies inmersas en las poblaciones, como resultado de la acción azarosa explicada por la recombinación genética y la mutación junto a las presiones y selección que imprime el ambiente a las poblaciones de seres vivos.

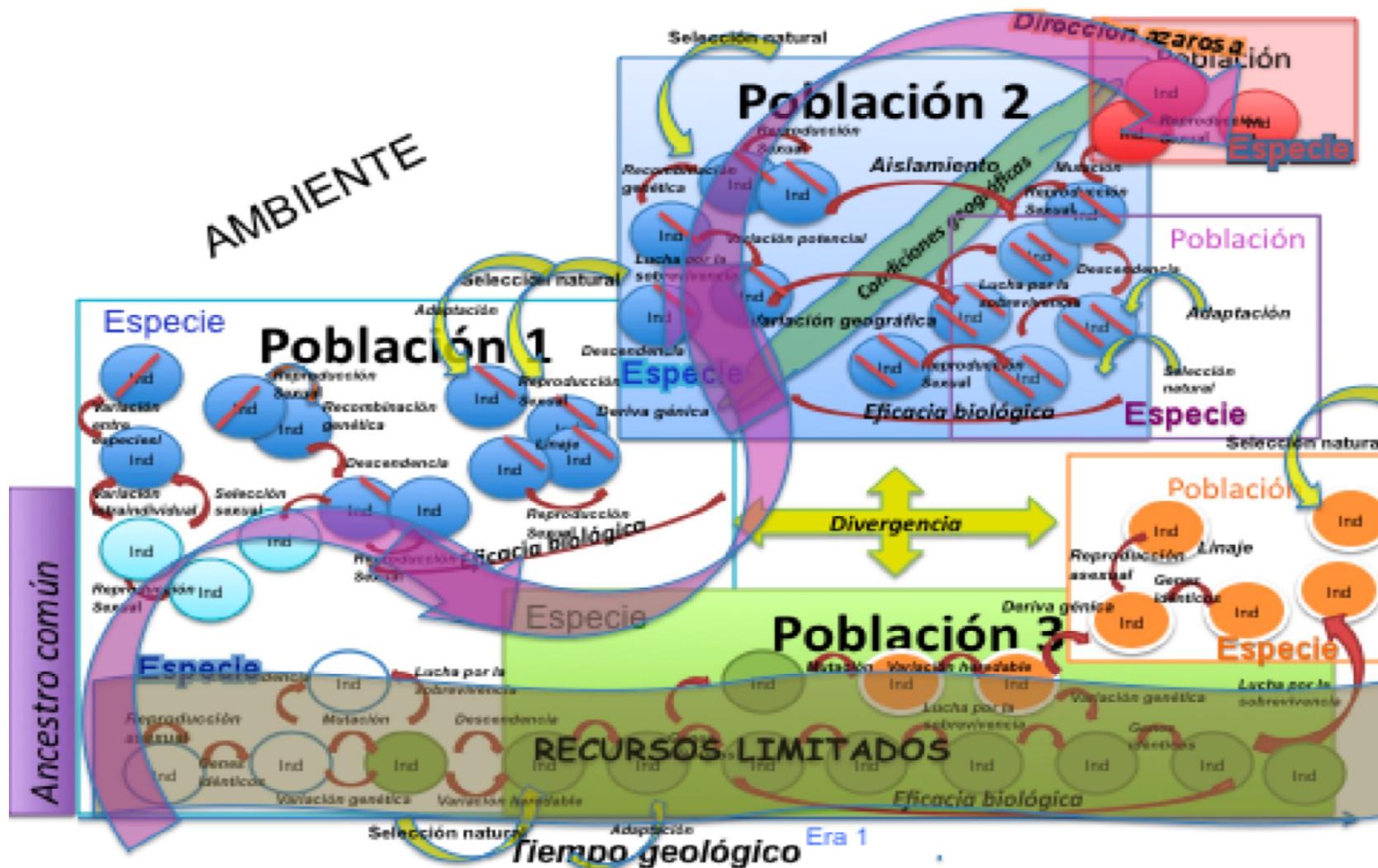
Figura 7. Modelo Científico Experto de la evolución biológica a nivel macro.



No obstante, el MCE macroscópico antes planteado no toma en cuenta algunas de los elementos y elementos centrales que aceptamos como esenciales, dado que existen pero no se pueden mostrar a un nivel tan global y macro; por ello se hace necesario plantear un MCE microscópico que permita realizar un zoom en algunas poblaciones y así adentrarnos a lo que pasa en ellas. El MCE microscópico retoma entidades: ancestro en común, población, especies, individuo y ambiente; las relaciones que se presentan selección natural, adaptación, divergencia, aislamiento geográfico, eficacia biológica, deriva génica, variedad (entre especies, genética, heredable,) lucha por la sobrevivencia, descendencia, selección sexual, mutación y recombinación genética; mientras las condiciones son dirección azarosa, tiempo geológico y recursos limitados.

Por tanto, la figura 8 representa una visión micro y centrada en la dinámica de algunas poblaciones para evidenciar los complejos procesos que tienen lugar en ellas. En el zoom se observan los complejos procesos responsables del cambio en las poblaciones, que son la variabilidad y sus fuentes: la recombinación genética y las mutaciones. Del mismo modo, se muestran los distintos tipos de variedades que puede tener un organismo aun compartiendo origen con otros.

Figura 8. Modelo Científico Experto de evolución biológica particular a nivel micro.

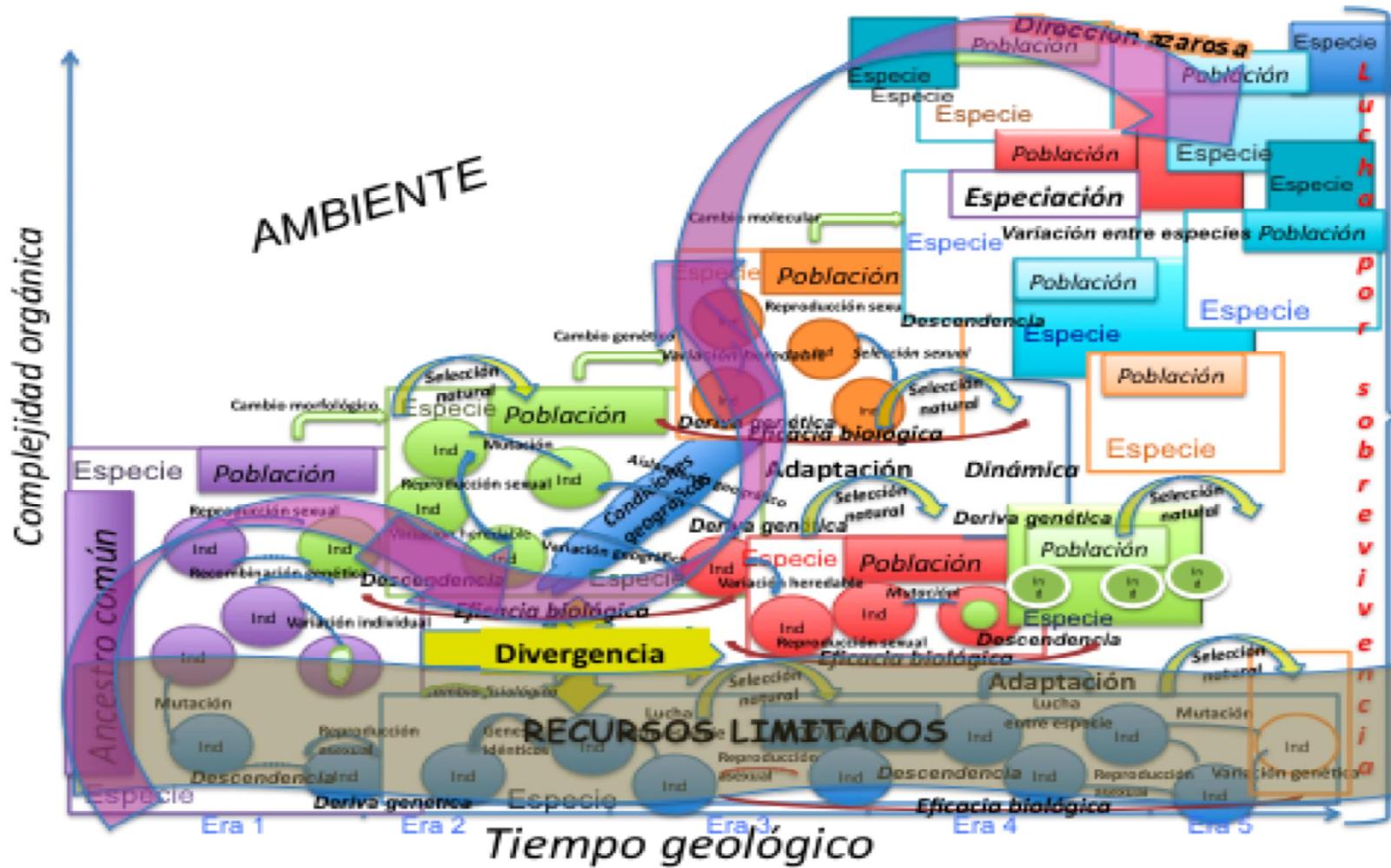


Otro de los elementos centrales que son visibles en el MCE a nivel microscópico es el concepto de especie inmerso en las poblaciones; así como el hecho de que además de competir con seres de otras especies, los organismos compiten entre individuos de la misma especie, ya sea por la condición de los recursos limitados que los hacen luchar por sobrevivir o por disputas de selección sexual que les asegura procrear descendencia y con ello perpetuar sus variaciones heredables. Lo anterior, esta mediado, presionado y seleccionado por el ambiente quien elige que individuos se adaptan.

Ahora bien, tanto la figura 7 como la figura 8 muestran un gran número de entidades, relaciones y las tres condiciones en común al explicar a distintos niveles el mismo fenómeno natural -la variedad en forma de seres vivos en lapsos prolongados de tiempo-; sin embargo exhiben también diferencias dignas de mencionar entre ellas: que el MCE macroscópico es más abarcativo donde el avance temporal se determina por varias eras geológicas -la condición tiempo geológico-; mientras que el MCE microscópico al centrarse en la dinámica de pocas poblaciones sólo representa lo que pasa en un pequeño segmento de una era geológica.

De ahí que representar el MCE desde alguno de los modelos anteriores sería una expresión un tanto incompleta, por ello en la figura 9 se propone un MCE que integrada los elementos, relaciones y condiciones del MCE macroscópico y MCE microscópico, por ello es una representación más completa del modelo científico experto de evolución biológica. La figura anterior representa el MCE integrado que se toma como referencia para la construcción del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) junto al Modelo Científico Curricular que se infiere en la siguiente sección.

Figura 9. Modelo Científico Experto integrado sobre evolución biológica.



3.3 Modelo Científico Curricular (MCCu) de la evolución biológica para educación secundaria

Para identificar el modelo científico curricular sobre la evolución biológica que explique el fenómeno de referencia -la variedad de formas de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo-, se revisó el programa de educación secundaria obligatoria 2011 propuesto por la Secretaría de Educación Pública. Tal documento tiene una estructura general aplicable tanto a disciplinas científicas, sociales como lingüísticas, que se puede sintetizar del siguiente modo: primero plantea estándares generales hacia el área de conocimiento en particular, en nuestro caso las ciencias; después expone estándares específicos hacia cada curso de ciencias –ciencias I, II y III con énfasis en biología, física o química respectivamente-; posteriormente plantea bloques con los principales objetos de conocimiento en cada curso determinado -cinco bloques por curso- y por último plantea las competencias que desea favorecer cada bloque -en un cuadro que también considera los aprendizajes esperados en cada competencia- y los contenidos en específico.

En este sentido, los estándares generales -en los planes y programas los nombran estándares pero al leerlos recuerdan mucho lo que es un propósito- en cuanto a la enseñanza de *Ciencias* plantean que al término de la secundaria:

“los estudiantes identifiquen la unidad y diversidad de la vida a partir del análisis comparativo de las funciones vitales, que les permiten reconocerse como parte de la **biodiversidad resultante del proceso de evolución**; avancen en la comprensión de las propiedades de la materia y sus interacciones con la energía, y en la identificación de cambios cuantificables y predecibles; además, se enfatiza en cómo se aprovechan las transformaciones en actividades humanas, a partir del análisis de sus costos ambientales y beneficios sociales, y la búsqueda de explicaciones acerca del origen y evolución del Universo.” SEP (2011:67)

Sobre los estándares particulares de cada curso de ciencia, en el primer curso de ciencias sobre biología encontramos que propone que el alumno debe:

“1.1. Identifica la unidad y diversidad en los procesos de nutrición, respiración y **reproducción, así como su relación con la adaptación y evolución de los seres vivos.**” SEP (2011: 67)

Dado que los planes y programas proponen los principales objetos de estudio en Bloques temáticos, encontramos cinco bloques como parte del curso con énfasis en biología, uno de ellos encargado de presentar el fenómeno de referencia a modelar titulado Bloque 1 “**La biodiversidad: resultado de la evolución**”. Dentro de cada bloque -lo que sería un cuarto momento en la estructura- se consideran las aplicaciones del conocimiento científico y tecnologías, las habilidades y actitudes asociadas a la ciencia en forma de competencias; por ello el programa establece las competencias que se desean favorecer, junto a los aprendizajes esperados que se pretenden conseguir mediante el desarrollo de ciertos contenidos. Las competencias ha desarrollarse en relación con el fenómeno evolutivo las encontramos en el Bloque 1 y se exponen en la Tabla 12.

Tabla 12. Competencias que se favorecen en torno al contenido de evolución biológica. (Tomado de planes y programas SEP, 2011)

COMPETENCIAS QUE SE FAVORECEN: Comprensión de fenómenos y procesos naturales desde la perspectiva científica • Toma de decisiones informadas para el cuidado del ambiente y la promoción de la salud orientadas a la cultura de la prevención • Comprensión de los alcances y limitaciones de la ciencia y del desarrollo tecnológico en diversos contextos	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CONTENIDOS
<ul style="list-style-type: none"> • Identifica el registro fósil y la observación de la diversidad de características morfológicas de las poblaciones de los seres vivos como evidencias de la evolución de la vida. • Identifica la relación de las adaptaciones con la diversidad de características que favorecen la sobrevivencia de los seres vivos en un ambiente determinado. 	IMPORTANCIA DE LAS APORTACIONES DE DARWIN <ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de algunas evidencias a partir de las cuales Darwin explicó la evolución de la vida. • Relación entre la adaptación y la sobrevivencia diferenciada de los seres vivos.

Durante la revisión anterior sobre planes y programas se han resaltado en negrillas algunos conceptos identificados como los elementos centrales, relaciones y condiciones que nos permitirán inferir el MCCu. En la Tabla 13 se enlistan en la primera columna los elementos centrales, en la segunda columna las relaciones que se han encontrado y por último las condiciones. Como se puede leer los elementos centrales del MCCu son cuatro mientras que las relaciones ascienden a diez, lo que mantiene la relación de poco más de 2 a 1 diferente a la que se evidenciaba en el MCE, es decir,

por cada entidad que se identificó existen poco más de dos relaciones, esto supone una pequeña diferencia de consistencia teórica entre el MCE y el MCCu.

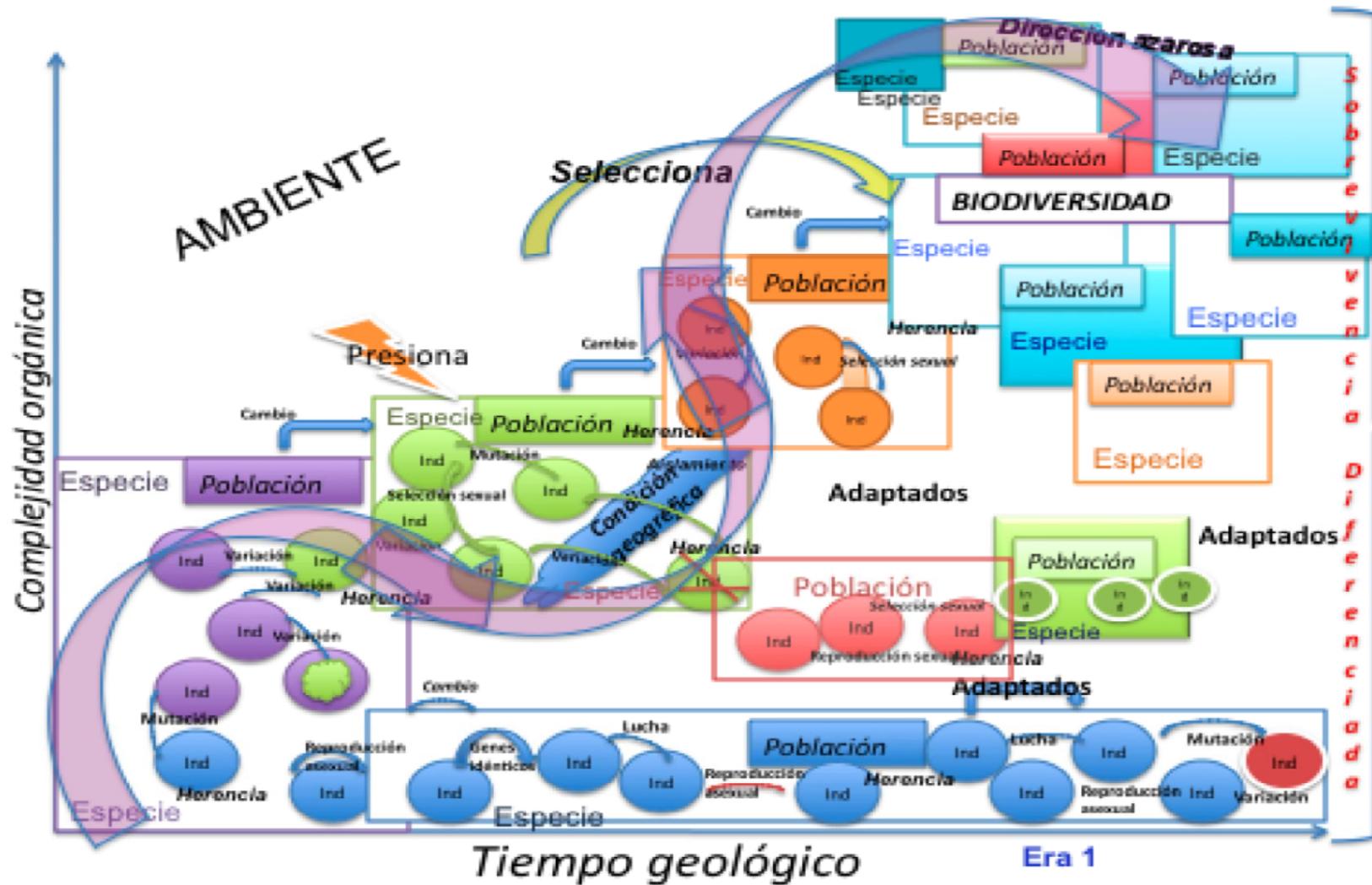
No obstante, es notable que la complejidad, el número de relaciones, condiciones y entidades en el MCCu es menor que en el caso del MCE, pero mantienen similitud en principios teóricos. En ese sentido, términos científicos como variabilidad (y sus distintos tipos), descendencia, cambio (y sus tipos) y lucha por la sobrevivencia son matizados en el MCCu con términos como diversidad de características o variación, lo que muestra un grado menor de complejidad necesario para ser tratados en secundaria, pero sigue correspondiendo con el MCE. Lo anterior implica, tal como lo plantea Chevallard (1985) una transposición didáctica que adecua los contenidos científicos expertos en contenidos de ciencia escolar (Izquierdo *et al*, 1999) aptos de ser enseñados en secundaria.

Tabla 13. Elementos centrales, relaciones y condiciones del MCCu.

Modelo Científico Curricular de la evolución biológica		
Elementos	Relaciones	Condiciones
1. Poblaciones 2. Ambiente 3. Especie 4. Ser vivo (individuo)	1. Biodiversidad 2. Variedad(diversidad de características) 3. Cambio 4. Mutación 5. Herencia 6. Adaptación 7. Selección sexual 8. Selección natural 9. Selección artificial 10. Sobrevivencia diferenciada	1. Tiempo geológico (fósiles) 2. Azar

La figura 10 representa el MCCu construido a partir de los elementos, condiciones y relaciones enumerados en la Tabla 13, donde constatamos que el grado de complejidad comparado con el MCE ha disminuido, manteniendo condiciones en ambos como son: la dirección azarosa y el tiempo geológico de la evolución, considerar a la evolución un proceso que solo es visible en las poblaciones, tomar en como referencia el tiempo geológico, la sobrevivencia diferenciada, la adaptación y la selección natural.

Figura 10. Modelo Científico Curricular de la evolución biológica



Si bien, es clara la similitud -tomando en cuenta la transposición didáctica- entre el MCE y el MCCu existen algunas entidades, condiciones y relaciones teóricas que creemos necesarias en un modelo sobre evolución biológica que permita explicar el fenómeno de referencia de esta tesis, algunas de las cuales carece el MCCu, entre las que destacan entidades como el ancestro en común y la condición de que los recursos son limitados.

A manera de cierre, vale la pena señalar que el revisar los planes y programas permitió inferir un modelo científico curricular que es congruente con el MCE - de la ciencia experta-. La finalidad por la que se construyeron ambos modelos es que son la referencia básica, única y esencial para la elaboración del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) que se expone en siguiente apartado.

Antes de plantear el MCEA es pertinente señalar que si bien al exponer el MCE se elaboraron de entrada dos representaciones -a nivel macro y micro-, para el caso del MCCu no es necesario puesto que una sola representación es capaz de englobar todos los elementos y relaciones identificados en los planes y programas y que dan forma al MCCu expuesto en la figura 10.

3.4 Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) de la evolución biológica

En los dos apartados anteriores se expusieron las referencias principales para la construcción del modelo científico escolar de arribo al que pretendemos guiar a nuestros alumnos, que son el MCE y el MCCu; del mismo modo el capítulo 1 (apartado 1.4) se infirió el ME que es otra de las piedras angulares para la construcción del MCEA ya que implica que se toma en cuenta la manera de pensar de los estudiantes sobre el fenómeno de referencia. El análisis de ambos modelos permite plantear aspectos como el siguiente: el MCCu -inferido de planes y programas- nos parece una atinada recomendación, ya que rescata elementos y relaciones del MCE con un menor grado de complejidad para apoyar su enseñanza en la educación secundaria. No obstante, consideramos que el MCCu deja de lado algunas entidades, condiciones y relaciones del MCE que serían de gran apoyo didáctico para la comprensión del

proceso evolutivo, ya que entre ellos se encuentran condiciones tan potentes como los recursos limitados sin la que sería complicado entender procesos como la lucha por la sobrevivencia. Por lo anterior el MCEA -Modelo Científico Escolar de Arribo- retomará algunos de los aspectos del MCE ausentes en el MCCu, en específico:

- 1) Toma en cuenta la existencia de un **ancestro en común** -entidad- como origen de las diversas y numerosas especies que han existido a lo largo del tiempo,
- 2) Así como a los **recursos del ambiente que son limitados** -condición- y por tanto existirá una **lucha por la sobrevivencia** y
- 3) Las implicaciones que tiene la **reproducción diferenciada** -relación-(sexual-asexual) durante el proceso de la evolución, ya sea como momento de **recombinación genética, mutación o generación de descendencia** de las especies.

De manera que a partir de un análisis de los modelos mostrados con anterioridad, en la Tabla 14 se enlistan los elementos centrales del MCEA -primera columna- y las relaciones que los vinculan -segunda columna-; donde podemos observar que los elementos centrales del MCEA son cinco mientras que las relaciones son doce y las condiciones tres, de manera que la relación que existía entre entidades y relaciones en el MCE de 3 a 1 se disminuye un poco, es decir, el MCEA centra su atención en las doce relaciones que se entablan entre cinco entidades en una proporción de poco menos de 3 relaciones por cada elemento de manera parecida que el MCCu.

Tabla 14. Elementos centrales, relaciones y condiciones del MCEA.

<i>Modelo Científico Escolar de Arribo de la evolución biológica</i>		
<i>Elementos</i>	<i>Relaciones</i>	<i>Condiciones</i>
1. Poblaciones 2. Ambiente 3. Especie 4. Ser vivo (individuo) 5. Ancestro común	1. Biodiversidad 2. Variación 3. Presión 4. Cambio 5. Mutación 6. Recombinación genética 7. Reproducción (sexual.asexual) 8. Descendencia 9. Adaptación 10. Selección sexual 11. Selección natural 12. Lucha por la sobrevivencia	1. Recursos limitados 2. Tiempo geológico 3. Azar

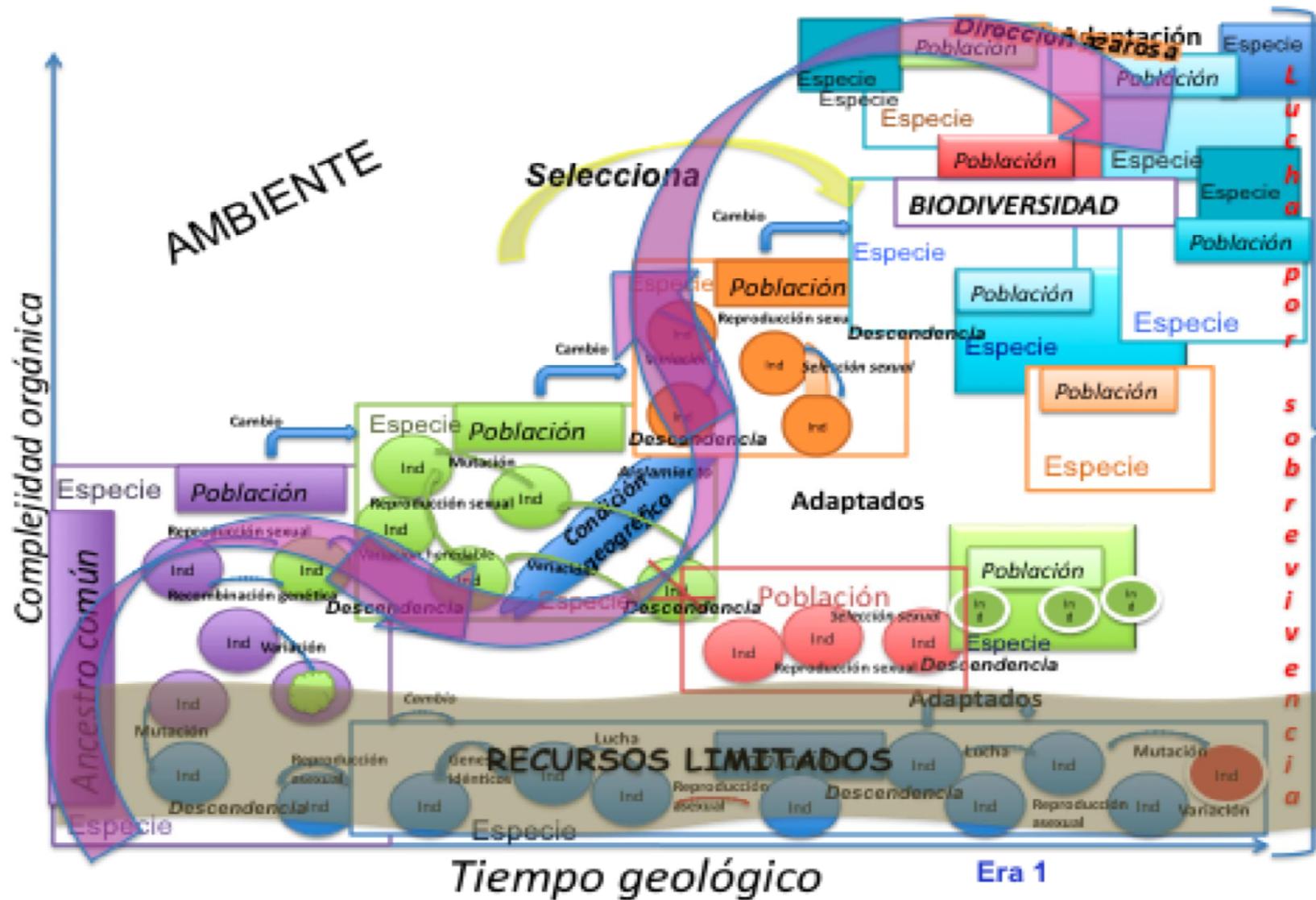
Lo anterior implica que el MCEA pretende establecer un menor número de relaciones entre los elementos pero de manera clara y profunda, más que evidenciar un mayor número de relaciones -posibles en este modelo teórico de asumir un mayor grado de complejidad-. Con esto el MCEA no se aparta de lo establecido en el MCE sino mantiene correspondencia y la consistencia teórica entre los tres modelos (MCE, MCCu y MCEA) ya que las relaciones entre sus elementos son numéricamente parecidas.

El número de condiciones del MCEA aumenta en uno a comparación con el MCCu debido a que consideramos que la enseñanza de procesos como la sobrevivencia del más apto, lucha entre especies e interespecie podrían resultar más claras al introducir la condición de los **recursos limitados**, dejando establecido que ante la limitación del ambiente y sobreproducción de seres vivos -mediante la reproducción diferenciada, una de las relaciones que se retoman del MCE- la lucha es inevitable. Una entidad central que se retoma del MCE es el **ancestro en común** al ser uno de los planteamientos esenciales del modelo de la evolución biológica vigente actualmente.

En cuanto a las relaciones que se enlistan en el MCEA se muestra que son tres más que en el MCCu y son: la recombinación genética, la reproducción diferenciada y presión del ambiente en los seres vivos; que se rescatan debido a que permiten explicar mejor hechos de la evolución como la variabilidad, el surgimiento de descendencia y la selección natural respectivamente.

La figura 11 representa el MCEA que retoma los aspectos antes mencionados y es una guía para el diseño de la estrategia didáctica motivo del siguiente capítulo; esto al considerar que la modelización como enfoque teórico se encuentra anclada en el constructivismo, donde la actividad escolar solo tiene sentido si es propuesta a partir del modelo cognitivo que los alumnos tienen sobre los fenómenos naturales y que expresan en el aula.

Figura 11. Modelo Científico Escolar de Arriba sobre evolución biológica.



3.5 Tensión entre el MCEA y el MC

El Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) expuesto en el apartado anterior sólo representará una guía adecuada para el diseño de la estrategia didáctica con la que se intervendrá si toma en cuenta al Modelo Cognitivo (MC) inferido de las concepciones alternativas reportadas en la literatura; por ello en las siguientes líneas realizaremos una comparación de los elementos, relaciones y condiciones que más discrepan entre ellos, con la finalidad de tensionar y aportar claridad al diseño de la estrategia que se plantea en el próximo capítulo.

La Tabla 15 se encuentran los elementos, relaciones y condiciones tanto del MC como del MCEA con la finalidad de encontrar diferencias e igualdades que nos permitan establecer la distancia a la que se encuentran uno del otro, ya que con ello conoceríamos que tan lejos se encuentra el cómo piensan los alumnos sobre el fenómeno de referencia (MC) de hacia dónde nos gustaría en este documento que arribaran los alumnos para explicarse el fenómeno de referencia (MCEA).

Tabla 15. Entidades, relaciones y condiciones del MC y MCEA

Modelo Cognitivo de la evolución biológica		
Elementos	Relaciones	Condiciones
1. Ser vivo 2. Ambiente 3. Ancestro	1. Cambio 2. Acostumbrarse 3. Adaptación (proceso individual) 4. Exigencia 5. Herencia 6. Perfeccionamiento 7. Poder supremo 8. Deseo interno	1. Tiempo humano 2. Finalizo
Modelo Científico Escolar de Arribo de la evolución biológica		
Elementos	Relaciones	Condiciones
1. Poblaciones 2. Ambiente 3. Especie 4. Ser vivo (individuo) 6. Ancestro común	1. Biodiversidad 2. Variación 3. Presión 4. Cambio 5. Mutación 6. Recombinación genética 7. Reproducción (sexual.asexual) 8. Descendencia 9. Adaptación 10. Selección sexual 11. Selección natural 12. Lucha por la sobrevivencia	1. Recursos limitados 2. Tiempo geológico 3. Azar

Comenzaremos la comparación revisando las similitudes que se encuentran entre ambos modelos: en lo referente a los elementos centrales de los modelos encontramos que en ambos se presenta el ser vivo, ambiente y ancestro (aunque en el caso del MCEA el ancestro es común entre todos los seres vivos); respecto a las relaciones encontramos en común cambio y adaptación (aunque el significado que cada modelo le imprime a esta última es totalmente distinto, ya que mientras para el MC adaptación es equivalente a acostumbrarse y como individuo cambiar, para el MCEA adaptación supone un proceso más complejo que sólo es visible en la poblaciones); por último en cuanto a las condiciones encontramos que sólo coincide el tiempo (aunque una vez más el significado es distinto en cada modelo, para el MC es un tiempo que podemos llamar humano, en años, mientras que para el MCEA es un tiempo geológico, en eras).

Después de explicitar los puntos en común de ambos modelos plantearemos ahora las diferencias que al parecer son más numerosas: en relación a los elementos centrales encontramos mientras el MCEA entabla una visión población el MC se centra en los individuos por lo que no considera como entidad estructural a las poblaciones; otra de las diferencias es que mientras el MCEA considera a la especie como la estructura que manifiesta las variaciones más importantes, el MC ni siquiera la considera. Respecto a los elementos enunciadas en común entre ambos modelos, también existen algunos matices importantes de mencionar: el elemento del ancestro en común del MCEA se refiere a un ancestro del que provienen el resto de las especies, mientras que el ancestro del MC se refiere a parientes lejanos de los organismos presentes; sobre el ambiente que es una entidad presente en ambos modelos existen fuertes matices referentes al tipo de relaciones que se entablan entre él y los seres vivos, lo que enunciaremos al diferenciar las relaciones.

Las diferencias en las relaciones que se encuentran en ambos modelos son diametrales y hacen que a pesar de tener entidades en común se distancien considerablemente uno de otro; esta distancia también se relaciona con las condiciones de los modelos que los dirigen a argumentos teóricos muy distintos; basta con mencionar relaciones presentes en el MC como poder supremo, acostumbrarse,

perfeccionamiento y deseo interno definen un modelo que nada tiene que ver con el MCEA donde existen relaciones como lucha por la sobrevivencia, selección natural, descendencia, mutación.

Un hecho que incrementa de manera considerable la distancia entre uno y otro modelo son las condiciones en las que se presenta, mientras para el MC las condiciones son que el proceso ha finalizado y que se presenta en un tiempo en años; para el MCEA las condiciones plantean que el proceso es impactado por los recursos limitados del medio, que ocurre en un tiempo geológico y que el asunto es un tanto azaroso debido a los mecanismos de recombinación genética.

Los argumentos de los párrafos anteriores permiten afirmar que existe una distancia considerable entre lo que plantea el MC y el MCEA, lo que nos permite tomar medidas en cuanto al diseño de la intervención, de ahí que, al contrastar el MCEA y el MC son tres las cuestiones teóricas que llaman la atención principalmente y que guiarán el diseño de la estrategia -en el próximo capítulo-:

1. Por un lado el MC plantea una concepción de tiempo humano que transcurre en años, por otro lado el MCEA -en congruencia con el MCE y MCCu- muestra **una visión del tiempo geológica** donde tiene cabida el proceso de la evolución por selección natural.
2. La evolución biológica en el MCEA es un **proceso que solo es visible en poblaciones**, es decir, actúa desde una concepción poblacional, mientras que el MC plantea que ocurre en individuos.
3. El MC se sustenta en la idea de que la evolución biológica es un proceso direccionado hacia la perfección y que ha finalizado, mientras que en el MCEA plantea que la **dirección de la evolución es un tanto azarosa y presionada por el ambiente**.

*“Di a cada uno: tienes razón. Porque tiene razón.
Pero condúcelos más alto en su montaña; pues el esfuerzo de escalar,
que rehusarían por ellos mismos, exige tanto de los músculos como del corazón...
¿Cómo conocerán los hombres sus actos si no han escalado trabajosamente la montaña,
en soledad, para transmutarse en silencio?”
Antoine Saint-Exúpery (1943: 34)*

CAPÍTULO 4

UNA ESTRATEGIA DIDÁCTICA SOBRE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA BASADA EN LA MODELIZACIÓN

En el capítulo anterior se construyeron cuatro modelos teóricos sobre evolución biológica -MCE, MCCu y MCEA-, con la finalidad de orientarnos en la elaboración de una estrategia didáctica anclada en la modelización del fenómeno de la variedad en formas de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo. Para tal fin, el MCE y el MCCu fueron elaborados como referencias principales para la construcción del MCEA, tomando en cuenta también el MC -explicitado en el capítulo 1- como punto de arranque para el diseño de la estrategia didáctica; de manera que el MCEA representa el modelo a donde se pretende acercar al alumnado.

Ahora bien, la modelización considera esencial contrastar el inicio de la actividad científica escolar -representado por el MC- y el modelo hacia donde se quiere transitar -representado por el MCEA-, ya que es lo que brinda los criterios para la elaboración de la estrategia que serán establecidos durante el presente capítulo. Antes de enunciar los criterios de guía para la estrategia, consideramos pertinente apuntar ¿cuál es la importancia de la planificación en la enseñanza de las ciencias?.

¿Cuál es la importancia de la planificación en la enseñanza de las ciencias?

Uno de los postulados elementales en cualquier ámbito de la enseñanza es que debe ser un acto planificado, con la finalidad de preveer los alcances o limitaciones en el logro de objetivos, aprendizajes y la medida de su eficacia. Por ello algunos teóricos del

campo de enseñanza de ciencias se han dado a la tarea de definir mecanismo que faciliten la planificación de las actividades docentes, entre ellos López y Mota (2011) que define a este conjunto de actividades jerarquizadas, continuas y coherentes como `estrategias didácticas´ argumentando que son:

“todas aquellas maneras de proceder docente -etapas o fases seguidas en una secuencia de enseñanza-, fundamentadas -es decir, sustentadas en desarrollos teóricos- ...-para temáticas contenidas en distintas disciplinas de enseñanza -biología, física y química-“. (López y Mota, 2011)

Al respecto Sanmartí (2002) menciona que el 90% de los enseñantes de ciencias priorizan `la explicación´ en la construcción de sus estrategias didácticas y que la mayoría son elaboradas en la cotidianidad laboral, carentes de un proceso de reflexión docente que permita que aclaren su postura frente a como concibe la ciencia, el aprendizaje, la enseñanza y la evaluación; claridad que fortalecería el desarrollo de actividades fundamentadas teóricamente con un alto sentido de coherencia.

De ahí que sea importante la planificación fundamentada de estrategias didácticas, por ello durante este capítulo se establecerán los criterios que guiaron en diseño, desarrollo y evaluación de la estrategia didáctica, así como la estructura de la estrategia didáctica, las actividades a desarrollar e instrumentos utilizados para recolectar información en el proceso de modelización.

4.1 Diseño de la estrategia didáctica

4.1.2 Criterios

Los criterios que se consideran a continuación representan las directrices para el diseño de la estrategia didáctica y se toman como referencia a partir de la tensión entre los modelos teóricos construidos en el capítulo anterior -MCE, MCCu, MCEA y MC-. Debido a los diferentes aspectos que tienen los criterios para el diseño de la estrategia didáctica, éstos se han dividido en dos tipos: criterios teóricos (constructivismo en la enseñanza de la ciencia y modelización) y prácticos (materiales, espacio y tiempo).

Criterios teóricos

Los criterios teóricos expuestos a continuación son derivados de la comparación realizada entre el MCEA y el MC en el capítulo anterior y de los supuestos básicos de la modelización, y son:

1. Resaltar la visión del tiempo geológico.
2. Poner énfasis en la visión poblacional del proceso evolutivo.
3. Incidir en la idea de dirección azarosa y presionada por el medio del proceso evolutivo.
4. La estrategia didáctica debe estar anclada en la posición teórica constructivista desde el enfoque de la modelización: pensamiento, acción y comunicación en torno al fenómeno de la variación de la vida en lapsos prolongados de tiempo.
5. Identificar e impactar en el modelo cognitivo evidenciado en los alumnos al inicio de la estrategia.
6. Utilizar elementos de la historia de las ciencias debido a lo potente que es como una herramienta didáctica impredecible en la educación en ciencias (Gil *et al.*, 2001), ya que permite regresar a los contexto de descubrimiento e involucrar al alumnado en la construcción de sus modelos al respecto del fenómeno tratado.

Criterios prácticos

Por último, los criterios prácticos son:

1. Tomar como referencia el tema 1.2. de Ciencias 1 (con énfasis en biología) como lo estipula el programa de educación secundaria publicado por la SEP en el 2011 (ver Tabla 11).
2. Desarrollar la estrategia didáctica en condiciones de aula, evitando la utilización de materiales poco accesibles y/o lejanos a la realidad del medio escolar en el que se trabaja en las escuelas secundarias.
3. Aplicar la estrategia en un promedio de 7 sesiones en consideración de los tiempos reales en los que se desarrolla un tema en el aula.
4. Diseñar la estrategia en virtud de una estructura que va de los simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto; manteniendo coherencia con la modelización,

que sostiene que es importante partir de ejemplos concretos e ir complejizándolos hasta llegar a la generalización, donde el modelo construido sea abstracto (Sanmartí, 2008).

La explicitación de los criterios de elaboración de la estrategia didáctica sugieren algunos propósitos que serán enunciados en el siguiente apartado, así como una estructura de la estrategia que será explicitada más adelante (apartado 4.1.4).

4.1.3 Propósitos de la estrategia didáctica

Para exponer los propósitos particulares de la estrategia didáctica es necesario retomar el propósito general del trabajo de tesis que es ***diseñar, aplicar y analizar una estrategia didáctica sustentada en la modelización que coadyuve en la transformación del modelo cognitivo inicial de los alumnos de secundaria sobre evolución hacia un modelo científico escolar más cercano al modelo darwinista respecto a lo morfológico -que es el aceptado por la ciencia experta-***.

Como producto de la comparación entre el MCEA y MC se plantean tres propósitos ha tomar en cuenta para la construcción del modelo científico escolar del alumnado después de implementada la estrategia, que son:

1. Promover una visión de poblaciones en vez de individuos,
2. Implicar una concepción del tiempo geológico en vez de un tiempo de vida de un individuo y
3. Introducir los elementos azar y presión del ambiente en el trascurso del proceso de la evolución.

4.1.4 Estructura de la estrategia didáctica

La estructura de la estrategia didáctica tendrá distintos momentos o fases, en congruencia con dos propuestas teóricas: la primera planteada por López y Mota (2002) que propone las etapas de inicio, desarrollo y cierre; y la segunda planteada por Sanmartí (2002) quien recomienda implementar actividades de exploración inicial,

actividades de introducción de nuevos puntos de vista para la modelización, actividades de síntesis -recapitulación o reestructuración- y actividades de generalización.

La decisión de fusionar ambas propuestas en la estructura de la estrategia didáctica, tiene origen al pensar en el anclaje teórico de las dos propuestas y el hecho de la compatibilidad y complemento que existe entre ellas: por un lado se tienen fases (propuesta de López y Mota, 2002), mientras que el otro lado ofrece actividades tipificadas ha realizar en esas distintas fases de la estrategia (Sanmartí, 2002). Ganancia aparte es pensar que ambas propuestas pretenden “favorecer una actividad científica del alumnado orientada a la construcción de las ideas y coherente con la actividad científica” (Sanmartí ,2002:186).

La Figura 12 contiene las fases del desarrollo de la estrategia y las actividades recomendadas en cada etapa. Se ubican dos elementos ha resaltar: primero el incremento de complejidad y abstracción que debe haber en las situaciones planteadas en las actividades conforme avancen las etapas de la estrategia -de situaciones simples a complejas-, como lo plantea Sanmartí (2002:194) “es importante diversificar... actividades, adaptando su complejidad a las características e intereses del alumnado”.

Segundo, el proceso de evaluación se considera a lo largo de las distintas fases de la estrategia y es que “aprender implica, pues, identificar obstáculos y regularlos, es decir, evaluar. Por ello la evaluación tiene la función de motor de aprendizajes ya que, sin evaluar-regular... no habrá progreso en el aprendizaje de los alumnos” explica Sanmartí (2002: 298).

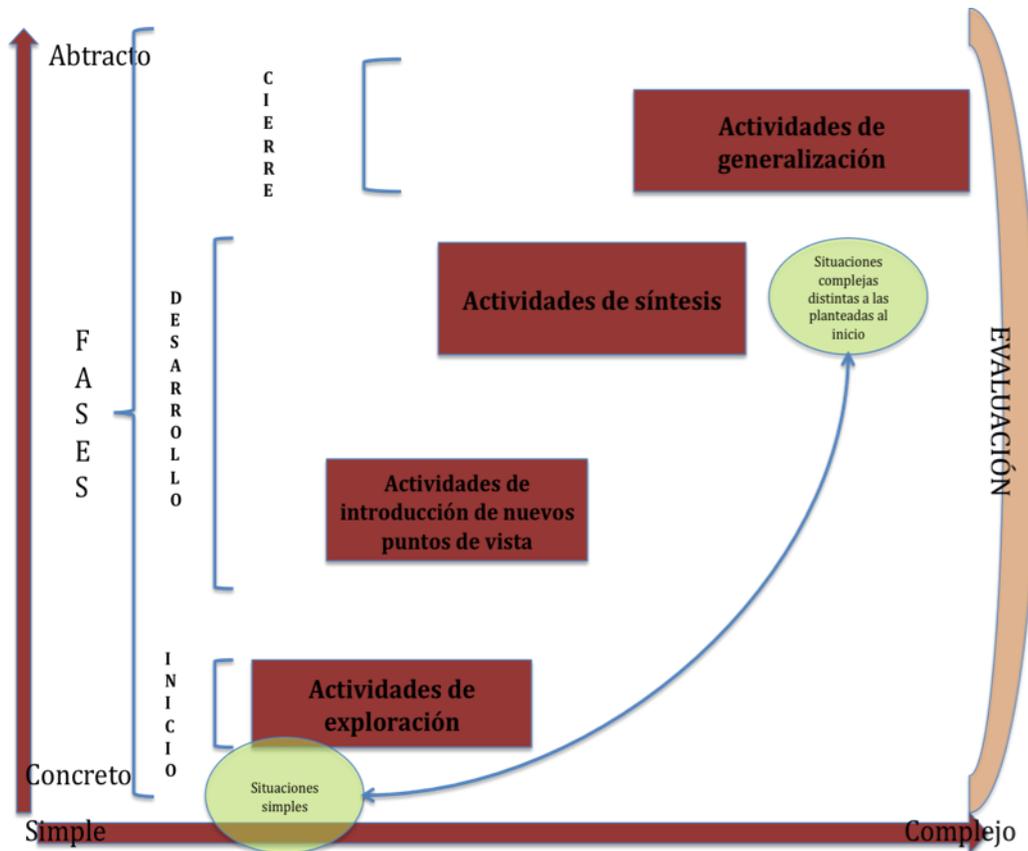


Figura 12. Esquema de la estructura didáctica utilizada en la estrategia adaptación de Neus, S. (2002) y Daniel, L. (2002).

Una importante consideración en el diseño de la estrategia, es actuar con cautela al proponer actividades, ya que se corre el riesgo de exagerar su número, para ello se debe tomar en cuenta que más importante que el número de actividades es el grado de autorregulación y metacognición que se promueva en el alumno hacia su aprendizaje “El alumno debe ser capaz de hablarse así mismo, de decirse qué está aprendiendo” (Sanmartí, 2002: 191).

Con base en los señalamientos anteriores la Tabla 16 muestra la síntesis de la estrategia didáctica, donde se exponen elementos como las fases de la estrategia, el tipo de actividad que se desarrollará, los criterios teóricos, el nombre de la actividad que se sugiere y el número de sesiones en las que se pretende desarrollar la estrategia:

Tabla 16. Síntesis de actividades de la estrategia didáctica.

Fases	Tipo de Actividad	Criterios teóricos	Nombre de la actividad	Sesiones
I N I C I O	Exploración de concepciones alternativas	Identificación de concepciones alternativas sobre el fenómeno de la variedad de formas en los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, para inferir el modelo inicial del alumnado. Modelizar: pensamiento, acción y comunicación. De la mano de la historia de las ciencias como herramienta de construcción del modelo.	1. Red semántica	2
			2. El misterio del topo	
			3. Exposición del misterio del topo.	
			4. Registro de lo trabajado en clase.	
D E S A R R O L L O	Introducción de nuevas ideas	Resaltar la visión del tiempo geológico. Modelizar: pensamiento, acción y comunicación.	5. El caso de la suricata.	2
			6. Línea del tiempo.	
			7. ¿Somos igualitos? .	
			8. Hasta ahora que se sabe sobre la evolución	
			9. Juego interactivo ¿Quién quiere vivir un millón de años?	
	10. Registro de lo trabajado en clase.			
R O L L O	Actividades de Síntesis (Construcción de modelo)	Poner énfasis en la visión poblacional del proceso evolutivo. Incidir en una dirección azarosa y presionada por el medio del proceso evolutivo. Modelizar: pensamiento, acción y comunicación.	11. Juegos de selección natural	1
			12. "Mapa conceptual sobre evolución"	
C I E R R E	Actividades de Generalización	De la mano de la historia de las ciencias como herramienta de construcción del modelo. Modelizar: pensamiento, acción y comunicación.	13. Carta a Darwin	2
			14. Relato de una bacteria.	
			15. Red semántica final	
Total			15	7

En la Tabla anterior podemos observar como se relacionan los criterios teóricos de diseño de la estrategia con la estructura didáctica, el nombre de las actividades a realizarse y el número de sesiones. Si bien, los criterios teóricos se encuentran solo enunciados en alguna de las fases de la estructura se debe considerar que están presentes a lo largo de toda la estrategia solo que se pone mayor énfasis en ciertos momentos y tipos de actividades. Los criterios prácticos no se encuentran explícitos en la Tabla porque se da cuenta de ellos en la estructura global de la Tabla -por ejemplo el número de sesiones-. Sobre las actividades la tabla nos permite ver que serán 15 a

desarrollarse en 7 sesiones -se encuentra una descripción a detalle sobre ellas en el Anexo 1-.

No obstante, existen cuestiones didácticas sobre el diseño -como los propósitos de las actividades, por ejemplo- que no son visibles en la Tabla anterior y que deben estar claras antes de desarrollar la estrategia didáctica en un contexto de aula; por ello se propone la Tabla 16 donde se exponen los propósitos esenciales de cada actividad en congruencia con los criterios teóricos y prácticos antes expuestos, así como los materiales y maneras de evaluar. Algunas de las actividades han requerido de instrumentos propios para desarrollarse -los cuales se localizan de querer mirarse a mayor profundidad se encuentran en los anexos indicados en el nombre de la actividad-.

Sobre los materiales se presenta un caso peculiar en la Actividad 9 (ver Tabla 17) ya que se utiliza en la estrategia la sala de informática y un sitio Web, lo que podría considerarse alejado de los contextos normales, sin embargo las escuelas secundarias del D.F. cuentan con estos materiales en su mayoría -de hecho la problemática ahora es que no se usan- y en caso de que la estrategia fuera desarrollada en un contexto que careciera de tal material se podría omitir la actividad o cambiarla por una visita a la biblioteca de la escuela o recurrir al libro de texto.

Sobre la evaluación -en congruencia con la estructura de la estrategia- es una situación que se presenta de manera constante durante todas las actividades, mediante diversas formas que van desde la expresión oral y escrita hasta el desempeño en juegos Web y actuados.

Tabla 17. Actividades de la estrategia didáctica.

Tipo de Actividad	Nombre de la actividad	Propósito de la actividad	Recursos/Materiales	Evaluación (productos)
Exploración de concepciones alternativas	1.Red semántica (Anexo 2)	Conocer el significado semántico del fenómeno de la variedad de seres vivos para evidenciar rasgos del modelo inicial del alumnado.	Hoja de red semántica	Instrumento de significado semántico
	2.El misterio del topo (Anexo 3)	Evidenciar los rasgos del modelo inicial que manifiesten los alumnos sobre el fenómeno de la variedad de seres vivos	Nota periodística	Instrumento de "misterio del topo"
	3. Exposición del misterio del topo.	Que los alumnos elaboren su modelo inicial por escrito para dar cuenta y evidencia de las ideas que utilizan para explicar el fenómeno de la variedad de seres vivos	Papel bond Plumones Diurex	Argumentación, exposición de ideas
	4. Registro de lo trabajado en clase.	Que comuniquen sus ideas a través de una exposición oral, sosteniéndolas mediante argumentos.	Cuaderno	Elaboración de textos
Introducción de nuevas ideas	5 .El caso de la suricata.	Problematizar las explicaciones del alumnado anteriores sobre el proceso que origina el cambio de los seres vivos en el tiempo.	Cuaderno	Reelaboración de ideas y explicaciones.
	6. Línea del tiempo.	Introducir el elemento tiempo como una construcción humana.	Papel américa Tijeras Diurex	Elaboración de visión evolutiva temporal
	7. ¿Somos igualitos? (Anexo 4)	Reconocer la potencia de la variabilidad como fuente de evolución.	Hoja de trabajo Fotos familiares	Exposición de ideas Instrumento ¿somos...?
	8.Hasta ahora que sé sobre la evolución	Explicitación de posibles variaciones en el modelo inicial	Hoja de trabajo	Argumentación en la actividad.
	9. Juego interactivo ¿Quién quiere vivir un millón de años? (Anexo 5)	Introducir nuevas entidades explicativas por medio de un juego interactivo y revisión de literatura.	Sala de informática Bitácora	Resolución del juego
	10. Registro de lo trabajado en clase.	Argumenten lo que hasta ese momento hayan modelizado como el proceso de evolución	Cuaderno	Redacción de variables del modelo inicial.
Actividades de Síntesis (Construcción de modelo)	11.Juegos de selección natural (Anexo 6)	Que comiencen a estructurar las nuevas elementos en su modelo inicial. (población, ambiente)	Hojas del juego Diversos materiales	Participación-argumentación en los juegos
	12. "Mapa conceptual sobre evolución"	Que comiencen a estructuras las nuevos elementos en su modelo inicial.	Pintarrón Plumones	Argumentación, consenso y puesta en común
Actividades de Generalización	13. Carta a Darwin (Anexo 7)	Argumenten lo que hasta ese momento hayan modelizado como el proceso de evolución desde Darwin apartir de la redaccion de una respuesta a la carta.	Hoja de carta a Darwin	Redacción de respuesta por medio de carta
	14. Relato de una bacteria (Anexo 8)	Expresa el fenómeno de variedad de los seres vivos a partir de la bacteria.	Hoja de relato de la bacteria	Resolución de actividad relato de bacteria
	15. Red semántica final	Conocer el significa semántico de evolución después de desarrollada la estrategia.	Hoja de red semántica	Instrumento de significado semántico
Total de actividades	15			

Red semántica

Una red semántica es un instrumento utilizado en psicología social para conocer las representaciones que elaboran los individuos sobre algún objeto de conocimiento en particular, por ello consideramos utilizarla como parte de la estrategia didáctica con la finalidad de conocer la representación que los alumnos tengan sobre el modelo teórico de evolución biológica -al ser este el modelo que explica el fenómeno de referencia-. De manera que una red semántica es una técnica que intenta acercarse a conocer el significado psicológico que un grupo social construye sobre un objeto de saber, en ese sentido “el significado psicológico es un código de información relativo a un objeto en particular, el cual depende de una base social consensuada” (Vera, 2005: 494).

Ese código de información se encuentra almacenado en la memoria a largo plazo, así el concepto de red semántica se relaciona con la memoria a largo plazo que implica selección, organización y consolidación de materiales de acuerdo a sus cualidades abstractas o significados (Howe, 1974 en Vera; 2005: 495). En ese sentido se reconocen dos tipos de memoria a largo plazo: la episódica y la semántica, sobre la memoria semántica²² sabemos que es necesaria para el uso del lenguaje ya que organiza conocimiento acerca de las palabras y otros símbolos verbales que nos permiten manejar socialmente símbolos, conceptos y relaciones (Talving, 1972 en Vera; 2005: 496).

Para Rumelhat y Norman (1988 en Vera; 2005: 496) la memoria semántica parte de supuestos que sirven para explicar la manera en que se organiza el significado de los conceptos por lo tanto plantean “ a) la existencia de grupos o ‘sets’ discretos asociados de forma simple entre sí; b) la existencia de una estructura específica de **relaciones** asociativas entre los **elementos** del grupo; -y- c) la estructura se organiza a través de niveles jerárquicos” (Vera, 2005: 496). Lo anterior implica que el significado semántico asocia grupos de conceptos, conceptos entre sí por medio de relaciones y que jerarquiza estas relaciones y conceptos brindándonos modelos para entender el mundo

²² Qué es la que nos interesa pues a ella alude la técnica de red semántica que se utilizó.

y lo que en él sucede, por ello es que sostenemos que una red semántica da indicios del modelo cognitivo que los alumnos tengan sobre algún fenómeno social.

La técnica de redes semánticas requiere que los individuos partan de un modelo central y produzcan una lista de definidoras, a cada una de las cuales se les asigna un peso (valor semántico) por su importancia como definidoras del concepto (Figuroa, González y Solís, 1981). El tamaño de la red semántica se obtiene sumando el número total de definidoras que nombro el grupo social con el que se trabaja. Las diez palabras definidoras que muestren mayor peso semántico -sean más mencionadas en un grupo social- formaran el núcleo de la red semántica y se les asignara un valor cuantitativo dependiendo de la frecuencia que presenten en el grupo social -de mayor a menor del 1 al 10-.

La distancia semántica es otro elemento de las redes semánticas que permite conocer el trayecto entre las definidoras, en función de conocer que grupos de definitorias - dentro del núcleo- definen mejor el concepto. Se obtiene entre los elementos del núcleo de la red asignando a la definitoria más frecuente el 100% y calculando por regla de tres el resto de los valores.

Con los elementos anteriores (núcleo de la red formado por las 10 definitorias más frecuentes, peso semántico y distancia semántica de cada definidora) se hace una tabulación que se grafica mostrando que definidoras definen más el concepto estímulo según determinado grupo social.

El uso de redes semánticas en educación ha sido para evaluar conceptos que los estudiantes tienen sobre alguna disciplina curricular en específico, como es el caso de conceptos fundamentales de física (Figuroa, González y Solís, 1981). De ahí que consideramos que apoyará en nuestra indagación sobre las concepciones alternativas respecto a la evolución biológica.

En este documento utilizamos una red semántica para conocer algunos aspectos del modelo cognitivo y de lo que el alumnado -con el que se trabajara la estrategia didáctica- considera evolución biológica, al reconocer que un modelo cognitivo es la representación mental y funcional que nos hacemos sobre algo y que éste nos permite explicarnos fenómenos del mundo. No obstante de antemano reconocemos que la red semántica es un instrumento que nos permitirá acercarnos a un consenso general de lo que el grupo de alumnos de manera concensuada considera `evolución biológica´ para describir los elementos y relaciones que nos permitan inferir los modelos cognitivos desmenuzaremos las concepciones alternativas que expresen los alumnos.

Las bondades por las que decidimos utilizar una red semántica es que este instrumento permite acercarnos tanto cualitativa como cuantitativamente a lo que un grupo social determinado defina como evolución biológica, ya que permite obtener datos cualitativos como son las palabras que para el grupo social de alumnos definan mejor el concepto de evolución biológica y también le otorga ciertos valores cuantitativos que permiten que realicemos elaboraciones validadas y gráficas al respecto.

De ahí que la red semántica se utilice en dos momentos dentro de la estrategia: al inicio y al cierre, lo que permitirá dos cosas: por un lado conocer cual es de manera general la concepción alternativa a la ciencia que los alumnos tienen sobre evolución biológica al inicio de la estrategia y por otro lado conocer cual es la apreciación global que tienen los alumnos al final de la estrategia con la intención de evidenciar posibles diferencias entre uno y otro momento.

4.2 Desarrollo de la estrategia didáctica

La aplicación de la estrategia didáctica se encuentra dividida en dos momentos: primero el pilotaje, ya que el proponer una nueva manera de acercamiento entre la ciencia y los alumnos supuso algunas dudas que eran necesarias de aclarar antes del momento de la aplicación definitiva. El segundo momento fue el aplicación definitiva.

La población con la que se pretendía trabajar era alumnado de primero de secundaria de edad entre los 11 y 13 años de edad, inscritos en educación básica, sexo indistinto y estrato social variado.

4.2.1 Pilotaje

Para el momento del pilotaje, se trabajo con 51 alumnos de primer grado en la escuela secundaria diurna 155 “Maximino Martínez” en específico los grupos “D” y “B”. Las experiencias de este primer pilotaje permitieron evidenciar ajustes que requería la estrategia. De manera general podemos mencionar cuatro tipos de ajustes: el primero respecto a que el número de actividades de la primera estrategia didáctica diseñada resultaba excesivo, ya que en varias de ellas los alumnos requerían mayor cantidad de tiempo para construir y resolver que el planificado por los diseñadores. Por ello, las sesiones que completaban la secuencia se extendían a más de diez, lo que hizo que se reconsideraran algunas actividades, debido a que se intenta hacer funcional está estrategia en condiciones normales de aula.

En consecuencia, se eliminaron o reestructuraron actividades en función de los procesos y tiempos de alumnado, los criterios de diseño y las finalidades propias de la estrategia didáctica hasta quedar como se encuentra en el presente texto.

Un segundo elemento que llamo la atención en el pilotaje, se refiere a algunos riesgos asociados al tipo de materiales de ciertas actividades, por ejemplo para un cultivo bacteriano (actividad que se suprimió en la versión definitiva) se necesitaba una especie de gelatina de caldo de pollo, a la que el alumnado tenía que manipular, etiquetar y observar durante las dos semanas de la estrategia. Pero al exponer la actividad y entregar el material la intención de los alumnos adolescentes era claramente jugar con este material, por lo que se suprimió la actividad al reevaluar su importancia dentro de la estrategia.

Aunque el hecho de que algunos materiales resultaran distractores o potenciales para el juego no fue el único criterio válido para eliminar las actividades, también se

consideró la finalidad, importancia y función de éstas en el desarrollo de la modelización del fenómeno, de no resultar tan potentes se decidió suprimirlas o de lo contrario modificarlas.

Una tercera aportación de la fase de pilotaje, fue respecto a la claridad de las instrucciones en los instrumentos a resolver había palabras o expresiones que confundían un tanto a los alumnos o retrasaban el comienzo de la actividad, por ello también se realizó una revisión de los instrumentos antes de la aplicación definitiva.

Se realizó un segundo pilotaje en la secundaria diurna número 85 “República de Francia” a un grupo de 22 alumnos, con las modificaciones surgidas a partir del primer pilotaje. Como resultado encontramos que en aspectos como tiempos, instrucciones y materiales la estrategia modificada se desarrollaba de mejor manera, aunque siempre en el ámbito docente es importante algunas modificaciones extras, pero de manera general la estrategia se desarrollo a nivel funcional (el motivo por el que esta segunda aplicación no se convirtió en la definitiva también estuvo relacionada con las practicas cotidianas de la escuela, ya que los tiempos no permitieron una aplicación completa de la estrategia).

4.2.2 Aplicación definitiva

Respecto al desarrollo definitivo de la estrategia didáctica es importante precisar algunos aspectos: el primero es que la escuela de aplicación fue la secundaria diurna No. 228 “Edmundo Ogorda” turno matutino; segundo, el número de alumnos que asistió a las sesiones oscilo entre los 17 y 25 adolescentes; tercero, el número total de sesiones de trabajo fueron 8; cuarto, las horas de clase a nivel secundaria constan de 50 minutos contando los traslados a laboratorio, patio escolar y aula de medios; por último la estrategia se desarrollo sin mayores inconvenientes y con la mejor disposición de las autoridades.

4.3 Evaluación de la estrategia didáctica

La explicitación de los criterios teóricos y prácticos, la revisión de la literatura sobre estrategias didácticas, la estructura de la estrategia, el planteamiento de las actividades

y las fases de pilotaje y desarrollo, permiten plantear algunos aspectos entorno a los cuales podrá ser evaluada la estrategia didáctica; éstos, que también llamaremos criterios de evaluación se dividen en dos teóricos y prácticos y se enuncian a continuación.

Criterios teóricos de evaluación de la estrategia

Estos criterios -tanto teóricos como prácticos- han sido diseñados para recolectar información que permita validar o no la estrategia didáctica, en el caso de los teóricos son:

1. La claridad teórica: que tanto la estrategia es capaz de superar los obstáculos de a enseñanza de la evolución para mantener claridad en los supuestos básicos del MCEA.
2. Avance en la complejidad teórica de lo simple a lo complejo: se refiere a la capacidad de la estrategia de apoyar el tránsito de los alumnos de situaciones concretas a situaciones más generales donde sean capaces de aplicar su modelo científico escolar sobre evolución biológica.
3. Suficiencia: si son o no suficientes las actividades planeadas en la estrategia.
4. Eficacia: se refiere a la capacidad de la estrategia de ser un mecanismo de identificación de modelos cognitivos iniciales y tránsito hacia modelos científicos escolares más cercanos a la ciencia experta.

Criterios prácticos de evaluación de la estrategia

1. El tiempo: que tanto se ajustó la estrategia en desarrollo de aula al tiempo planeado previamente.
2. Materiales: que tan funcionales y pertinentes con los materiales en el contexto escolar.

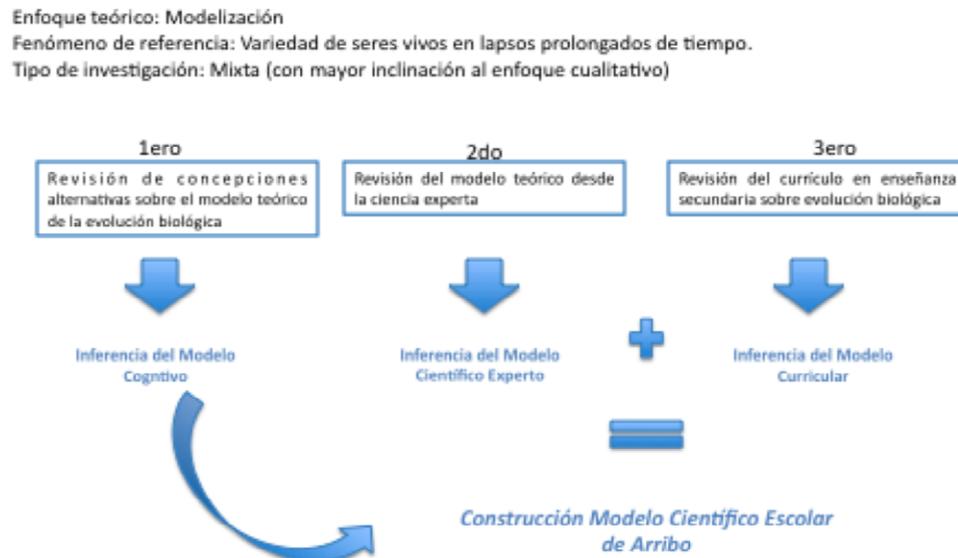
4.4 Un alto en el camino

Antes de presentar los datos provenientes de la aplicación de la estrategia didáctica -en el próximo capítulo- y analizarlos, consideramos importante realizar un alto para esquematizar el proceso metodológico seguido hasta ahora en la construcción de la estrategia didáctica y posterior intervención.

Hasta aquí se pueden identificar tres grandes fases: la primera es el camino seguido para la construcción del modelo científico escolar de arribo (MCEA), el cual está anclado teóricamente en la modelización como enfoque de la enseñanza de las ciencias; la segunda es donde se señalan los elementos que se tomaron en cuenta para la construcción de los criterios -teóricos y prácticos- de diseño de la estrategia didáctica; y la tercera muestra las fases de aplicación que se siguieron a partir de tener elaborada la estrategia didáctica. A continuación se describe brevemente cada una de estas fases.

En la Figura 13 se identifican tres primeros momentos del trabajo, que permitieron diseñar la estrategia didáctica, a saber: en el primero se realiza una revisión de las concepciones alternativas respecto al modelo teórico de la evolución biológica -ya que es el modelo que explica el fenómeno de referencia-, a partir de las que se infiere el modelo cognitivo (MC) de los alumnos.

Figura 13. Esquema de pasos para la construcción del MCEA



En el segundo momento se revisa el modelo teórico experto sobre evolución biológica y se infiere el modelo científico experto (MCE), si bien vale la pena señalar que la ciencia experta tiene un claro modelo teórico sobre la evolución biológica, en ningún lugar se encontró explícito en términos de elementos, relaciones y condiciones, de ahí que se consideré que nosotros realizamos una inferencia al construirlo.

En un tercer momento se realiza una revisión del currículum vigente sobre la evolución biológica para inferir el modelo científico curricular (MCCu). Por último el esquema anterior, indica cómo es que a partir del MCE y MCCu se construye el modelo científico escolar de arribo (MCEA), a donde se pretende se acerquen los alumnos al final de la estrategia, una flecha indica que para la construcción del MCEA también se considera como punto de partida el MC inferido al principio de este trabajo.

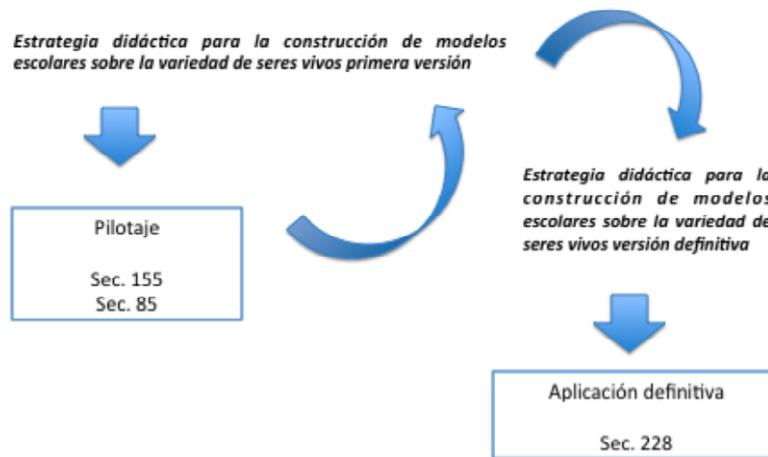
Por otro lado, la Figura 14 muestra los elementos que se tomaron en cuenta para la construcción de los criterios de diseño de la estrategia didáctica; lo que se puede resumir al decir que la tensión entre el MC y el MCEA, más los principios básicos de la modelización -ver capítulo 2-, guiaron la construcción de los criterios teóricos y prácticos de diseño de la estrategia didáctica.

Figura 14. Elementos para construir los criterios teóricos y prácticos de la estrategia didáctica



Con base en los criterios teóricos y prácticos se diseñó la estrategia al tener una primera versión se realizaron las fases de pilotaje, después de ellas la estrategia sufrió algunas modificaciones y se aplicó de manera definitiva, la Figura 15 expone la fase de aplicación con dos momentos: pilotaje y aplicación definitiva, de este segundo momento se desprenden los datos que se analizarán en la siguiente capítulo.

Figura 15. Fases de aplicación de la estrategia didáctica



Ahora bien, también es necesario mencionar que el trabajo es principalmente de corte cualitativo, sin excluir aspectos de corte cuantitativo -como por ejemplo la construcción de una red semántica-, de tal manera que el análisis de los datos es de corte mixto.

La visión de ambos enfoques de investigación queda patente en el análisis de los resultados, en dónde se requiere que los datos o la información recogida se analice de forma cualitativa y cuantitativa, sobretodo cualitativa debido al posicionamiento teórico de la modelización.

CAPITULO 5

DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A lo largo de los cuatro capítulos anteriores se planteó el problema que se aborda en este trabajo, así como los sustentos y referentes teóricos que dieron lugar al diseño, desarrollo y evaluación de la estrategia didáctica que se elaboró y se puso en práctica con un grupo escolar. Como producto de la puesta en práctica de la estrategia didáctica **‘construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: una estrategia sustentada en la modelización’**; en este capítulo se presentan los datos obtenidos y el análisis en ocho ejes, mismos que representan cada apartado del presente capítulo, que se describen de la siguiente manera:

Ejes Analíticos

Primero. se plantea un panorama general de lo que el alumnado en conjunto piensan que es la evolución biológica -ya que es el modelo teórico que explica nuestro fenómeno de referencia- a través de una red semántica inicial.

Segundo. se infieren los modelos cognitivos evidenciados en el alumnado, a partir de las actividades de inicio de la estrategia.

Tercero. se hace una comparación entre el modelo cognitivo inferido de las concepciones alternativas reportadas en la literatura -ver apartado 1.4- y los Modelos Cognitivos Evidenciados (MCIs) en el grupo de aplicación de la estrategia.

Cuarto. se infieren los Modelos Científicos Escolares Intermedios (MCEI) construidos a partir de la estrategia didáctica mediante el análisis de dos actividades particulares: la actividad de ‘hasta ahora que sé sobre evolución’ y la actividad de construcción grupal del ‘mapa conceptual sobre evolución’.

Quinto. se plantean los Modelos Científicos Escolares Alcanzados (MCEAI) del alumnado a través de las actividades de cierre de la estrategia.

Sexto. se compararan el modelo científico escolar de arribo (MCEA) y los Modelos Científicos Escolares Finales (MCEAI) del alumnado.

Séptimo. se plantea un panorama general de lo que el alumnado plantea que es evolución biológica al final de la estrategia, por medio de la red semántica final.

Octavo. por último se hace un análisis de la estrategia didáctica a partir de los criterios de diseño y evaluación establecidos en el capítulo anterior.

A continuación abordamos los ejes antes mencionados para dar a conocer el tipo de datos y análisis que surgieron a razón de la aplicación de la estrategia didáctica.

5.1 Panorama general de la evolución biológica: red semántica inicial

Con la finalidad de brindar un panorama general de lo que un grupo de alumnos de secundaria mexicana define como evolución biológica -ya que es el modelo teórico que explica el fenómeno de referencia-, al inicio de la estrategia didáctica se utiliza el instrumento de la red semántica -cuyas características y bondades se han puntualizado en el capítulo anterior-.

Cabe aclarar que este instrumento se aplicó tanto en el grupo de desarrollo definitivo de la estrategia como en los dos grupos de pilotaje y que, con la intención de tener una muestra amplia que sustente la red semántica que se elaborará a continuación, es que en un primer momento planteamos la red semántica del total de alumnos que participaron en las fases de pilotaje y desarrollo definitivo; y en un segundo momento - para futuros fines comparativos- se elabora la red semántica del grupo de desarrollo definitivo.

De manera que, en adelante expondremos las definidoras -entendidas como las palabras que definen, para determinado grupo social cierto término- de 101 alumnos provenientes de tres escuelas secundaria diurnas públicas del Distrito Federal, las escuelas sec.155, sec.85 -escuelas de pilotaje- y sec.228 -escuela de aplicación definitiva-; alumnado cuyas edades oscilan entre los 12 y 14 años como se expone en la Tabla 18.

Tabla 18. Alumnado participante en la elaboración de la red semántica.

	Sexo		Categorías de edad			Escuela Secundaria Diurna No.		
	Mujer	Hombre	1 (12 años)	2 (13 años)	3 (14 años)	155 *	85*	228
N	55	46	40	56	5	41	24	36
%	54.45%	45.54%	39.6%	55.4%	4.9%	40.59 %	23.76%	35.64%
Total	101		101			101		

*Escuelas donde se realizó el pilotaje

Como se observa en la tabla anterior el total del alumnado (101) se encuentra bastante equilibrado en cuanto al sexo (54.4% mujeres y 45.5% hombres), mientras que en cuanto a la edad la mayor parte del alumnado se encuentra entre los 12 y 13 años (95% del total), lo que es entendible al recordar que el tema objeto de investigación se imparte en primero de secundaria. Un último dato que aporta la Tabla 17 es el número de alumnos por escuela secundaria que varía entre 24 y 41 alumnos por grupo, que la baja población de la secundaria 85 -24 alumnos- se debe a que en ella se piloteó en un turno vespertino ,en comparación con las otras dos secundarias -155 y 228-, turno que suele ser menos numeroso que los turnos matutinos en escolaridad básica en México.

Una situación importante que comparten los alumnos a los que se aplicó la red semántica, es que todos ellos ya habían abordado el modelo teórico de evolución biológica en sus clases de ciencias meses antes de la aplicación de la estrategia; lo que podría suponer que saben aspectos del modelo teórico de evolución biológica.

Con lo anterior tenemos establecidas las características generales del alumnado, ahora recordemos que uno de los primeros datos que nos aporta una red semántica es el tamaño de la red, que se refiere al número total de definidoras que el grupo social nombra a partir del concepto estímulo, para el estímulo `evolución biológica` el tamaño de la red es de 153 definidoras como lo expone la Tabla 19.

Tabla 19. Tamaño de la red semántica por sexo y escuela.²⁵

	Sexo		Escuela Secundaria Diurna No.		
	Mujer	Hombre	155	85	228
Tamaño de la red	139	108	98	54	96
Total	153		153		

La Tabla 18 también plantea el número de definidoras que exponen los alumnos ante el estímulo de evolución -153- así como algunas diferencias: en cuanto al sexo se observa que las mujeres aportan un mayor número de definidoras que los hombres - 139 y 108 respectivamente- y sobre la escuela de procedencia se lee que los alumnos de la escuela de turno vespertino sec. 85 manifiestan un menor número de definidoras (54) que las otras dos secundarias; las que se encuentran bastante equilibradas en cuanto al número de definidoras aportadas. Lo anterior podría ser por dos razones: la primera es que el número de alumnos de la escuela 85 es menor que las otras dos secundarias y la segunda razón es que los turnos vespertinos generalmente se forman con alumnos menos estimulados culturalmente que el alumnado de turno matutino y ello podría evidenciar -entre otras cosas- en su lenguaje.

Un elemento más que nos arroja la técnica de red semántica es el peso semántico, que se obtiene de la suma de las frecuencias por la jerarquización asignada en el grupo, donde se le otorga el número 1 a la palabras más definidora -frecuente- y así consecutivamente, después se multiplica por 10, la palabra 2 por 9, la 3 por 8 y así sucesivamente hasta llegar a la décima palabra. El núcleo de la red esta formado por las 10 definidoras con mayor peso semántico, es decir, que describen mejor el estímulo para determinado grupo social. En el caso del estímulo `evolución biológica´ el núcleo semántico por sexo y escuela de procedencia se encuentra en la Tabla 19, el núcleo semántico ha sido diferenciado por sexo y escuela con la finalidad de posteriormente evidenciar similitudes o diferencias entre los núcleos semánticos.

Como se observa en la Tabla 20, aunque la jerarquía asignada a las definidoras presenta variaciones, el grupo social aporta en general las mismas definidoras ante el

²⁵ La tabla no considera la edad porque no hubo diferencias mayores a 1 o 2 definitorias por edad.

estímulo 'evolución biológica' que son: 'crecimiento', 'cambio', 'ser humano', 'reproducción', 'desarrollo', 'diferencias' y 'mejora' -este último no fue aportado en el grupo de las mujeres-. Aquellas definidoras distintas surgen por ejemplo al comparar entre sexos: mientras las mujeres definen evolución con términos como 'ciclo de vida', 'creación' y 'tiempo', los hombres lo hacen con palabras como 'adaptación' -a estas alturas no sabemos aun como relaciona ese término con los demás, si es que será del tipo síntesis de la evolución o lamarckista-, 'Tierra' y 'mono' son otras definidoras.

Tabla 20. Núcleo semántico con peso semántico (PS) por sexo y escuela de procedencia.

	Sexo		Escuela Secundaria Diurna No.		
	Mujer (PS)	Hombre (PS)	155 (PS)	85 (PS)	228 (PS)
N Ú C L E O S E M Á N T I C O	Crecimiento (320)	Cambio (230)	Cambio (240)	Cambio (170)	Crecimiento (220)
	Ciclo de vida (243)	Ser humano (144)	Crecimiento (171)	Crecimiento (108)	Cambio (153)
	Cambio (208)	Animales (120)	Ser humano (128)	Tiempo (96)	Ser humano (120)
	Reproducción (140)	Crecimiento (98)	Reproducción (91)	Ser humano (73)	Desarrollo (77)
	Desarrollo (114)	Tierra (60)	Desarrollo (84)	Reproducción (54)	Reproducción (60)
	Ser humano (95)	Diferentes (45)	Animales (54)	Animales (35)	Animales (40)
	Ser vivo (44)	Adaptación (28)	Diferencias (35)	Desarrollo (28)	Diferencia (32)
	Animales (33)	Reproducción (21)	Crear (24)	Especie (18)	Mejora (21)
	Tiempo (16)	Mono (14)	Inteligencia (18)	Ser vivo (14)	Crear (12)
	Creación (7)	Mejora (7)	Mejora (7)	Mejora (5)	Tierra (5)

En cuanto a la escuela de procedencia encontramos menos diferencias entre los alumnos que definen el estímulo 'evolución', pero sólo algunos de ellos introdujeron definidoras como 'inteligencia', 'especie' y 'mejora' que no son mencionadas por todos los grupos. La diferencia que hay entre los alumnos por escuela de procedencia es más en cuanto a la jerarquía de las definidoras que por las definidoras en sí mismas.

El valor del peso semántico señalado en la Tabla 21 nos permite evidenciar cuales son las definidoras que definen mejor el estímulo 'evolución', para este grupo social. Pero para conocer el núcleo semántico global de los 101 alumnos de las tres escuelas de

procedencia es necesaria la Tabla 20 donde se explicita el núcleo semántico -también llamado conjunto SAM- global, el peso semántico y la distancia semántica; esta última nos permite conocer la distancia entre las definidoras del núcleo semántico del estímulo 'evolución'.

Tabla 21. Conjunto SAM de los 101 alumnos.

	Conjunto SAM*	Peso semántico	Distancia semántica
N Ú C L E O S E M Á N T I C O	Cambio	500	100%
	Crecimiento	414	82.8%
	Ciclo de vida	296	59.2%
	Ser humano	245	49%
	Reproducción	162	32.4%
	Animales	130	26%
	Desarrollo	92	18.4%
	Diferentes	45	9%
	Tierra	30	6%
	Ser vivo	14	2.8%

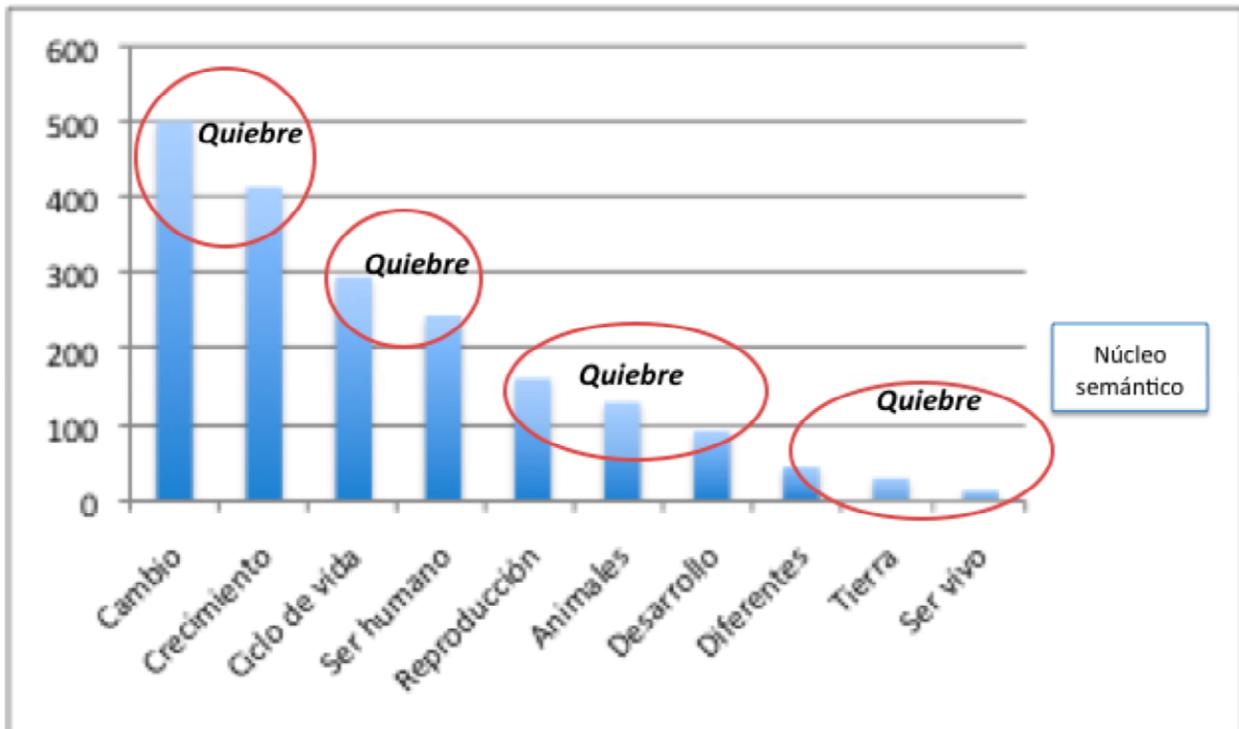
Un elemento que no se había explicitado era la distancia semántica, que se refiere al trayecto que hay entre las definidoras que conforman el núcleo de la red -conjunto SAM-. Para conocerla, se asigna un 100% a la definitoria de peso semántico más alto y por regla de tres se calcula el porcentaje del resto de las 10 definidoras, esto nos permite conocer la jerarquización de las definidoras y su cercanía con el estímulo central 'evolución'.

En la Tabla 21 podemos observar que el núcleo semántico está formado principalmente por definidoras como: 'cambio', 'crecimiento', 'ciclo de vida' y 'ser humano', que muestran pesos semánticos más altos y separados del resto de las definidoras. En una red semántica para identificar grupos de definidoras que tienen menor distancia semántica entre sí que con otros grupos -lo que implica que definidoras que se agrupan y muestren pesos semánticos más altos definen mejor el objeto social a conocer-, se realiza una gráfica colocando en el eje de las X a las definidoras en orden descendente y en el Y su frecuencia, en esta gráfica el núcleo semántico se representa por la curva que se forma con los puntos más altos de las definidoras. Después se observan las

distancias entre definidoras y se realiza un punto de corte, que se le denomina quiebre de la curva.

Como se observa en la Figura 16 los puntos de quiebre de la curva que nos indican distancias semánticas importantes entre grupos de definidoras se encuentran entre las dos primeras definidoras -`cambio`y `crecimiento` y el resto, que se podría interpretar afirmando que para el grupo social de los 101 alumnos evolución se define mejor mediante estas primeras palabras.

Figura 16. Gráfica de red semántica de 101 alumnos.

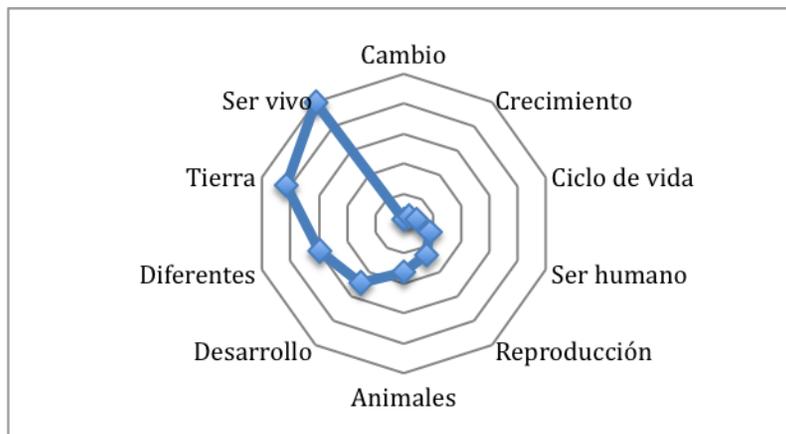


Un segundo momento de quiebre se da entre las definidoras `ciclo de vida` y `ser humano`, otro más entre las definidoras `reproducción`, `animales` y `desarrollo` y un último entre las definidoras `diferentes`, `Tierra` y `ser vivo` -ya que el peso semántico se reduce a la mitad de un grupo a la otro-. Lo anterior implica que el estímulo evolución se define en menor medida para este grupo social por definidoras como:

`diferentes´, `Tierra´ y `ser vivo´ y mejor medida por definidoras como `cambio´, `crecimiento´, `ciclo de vida´ y `ser humano´.

La Figura 17 nos muestra una representación de la red semántica del conjunto SAM de evolución, y se explica diciendo que el centro de la red es el estímulo evolución, las definidoras que mayor cercanía muestran al centro son las que definen más al estímulo, mientras que las que se vayan alejando de él lo definen menos. Así podríamos interpretar a partir de la figura que evolución se define como un **cambio** que supone el **crecimiento** dentro de un **ciclo de vida** en el **ser humano**.

Figura 17. Red semántica del estímulo evolución.



Además de la red semántica de los 101 alumnos expuesta con anterioridad, que nos ha permitido acercarnos a cómo definen el modelo de la evolución biológica un conjunto de alumnos, a continuación se plantea la red semántica particular del grupo con el que se desarrolló totalmente la estrategia didáctica; con la finalidad de que en un apartado posterior del presente capítulo se compare con la red semántica final en la búsqueda de posibles diferencias y similitudes.

Red semántica del grupo de aplicación

El grupo escolar con el que se desarrolló totalmente la estrategia didáctica fue el primer grado grupo "C" de la escuela secundaria no. 228 en su turno matutino; conformado por

36 alumnos de los cuales el 52.7% son mujeres (19 alumnas) y el 47.2% (17 alumnos) son hombres como lo reporta la Tabla 22. Cuyas edades oscilan entre los 12 y 14 años.

Tabla 22. Datos de escuela de aplicación de la estrategia.

Escuela Secundaria Diurna No. 228		
	Mujer	Hombre
No.	19	17
Total	36	

El tamaño total de la red semántica del grupo de aplicación fue de 96 definidoras de las cuales muestran mayor peso semántico: *crecimiento*, *cambio*, *ser humano*, *desarrollo*, *animales*, *reproducción*, *diferentes*, *mejora*, *crear* y *Tierra*. La Tabla 23 muestra el núcleo, peso y distancia semántica de la red.

Tabla 23. Núcleo, peso y distancia semántica del grupo de aplicación.

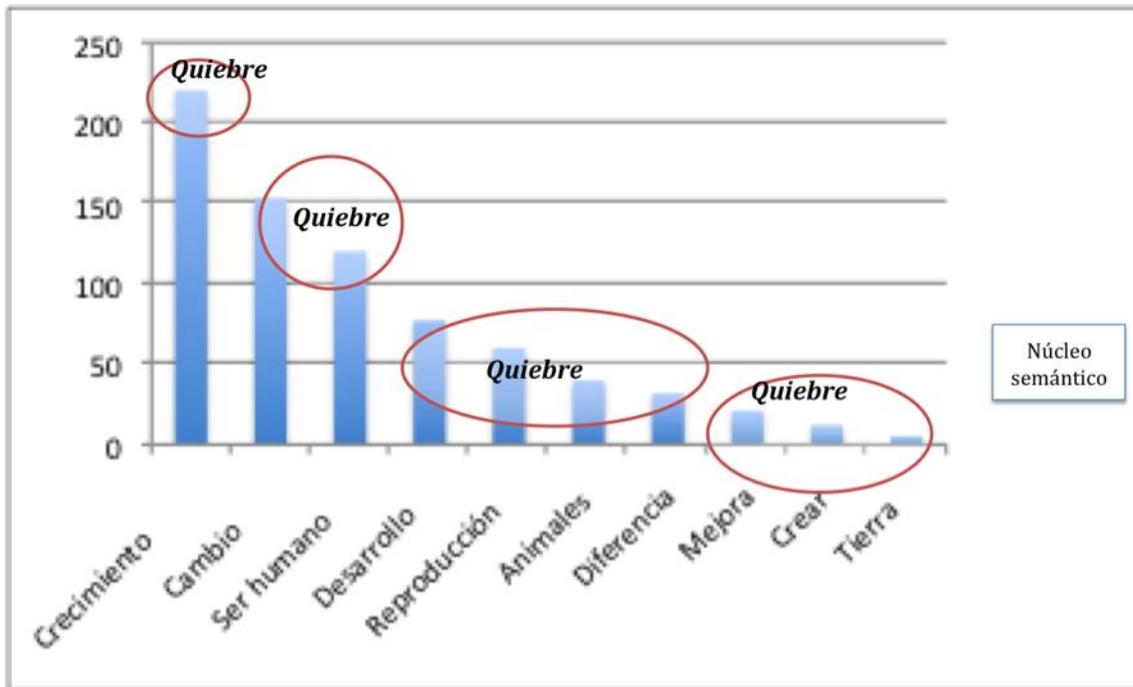
	Conjunto SAM	Peso semántico	Distancia semántica
S E C. 2 2 8	<i>Crecimiento</i>	220	100%
	<i>Cambio</i>	153	69.5%
	<i>Ser humano</i>	120	54.5%
	Desarrollo	77	35%
	Reproducción	60	27.2%
	Animales	40	18.1%
	Diferencia	32	14.5%
	Mejora	21	9.5%
	Crear	12	5.4%
	Tierra	5	2.2%

La Tabla 22 evidencia que para los alumnos del grupo de aplicación el estímulo *evolución* se define principalmente por las definidoras crecimiento, cambio y ser humano; mientras el resto muestra pesos semánticos mucho menores y se distancia considerablemente de las tres definidoras iniciales. Lo anterior implica que para el alumnado de la sec. 228 a primera vista y de manera global el estímulo *evolución* se define como el **crecimiento** que origina **cambios** en el **ser humano**. En ese sentido la Figura 19 evidencia la cercanía al centro de la red de definidoras como crecimiento,

cambio y ser humano y la lejanía de definidoras como crear, mejora y Tierra, quienes definirían en menor grado al estímulo.

Sobre los puntos de quiebre entre distancias semánticas la Figura 18 nos muestra la gráfica de donde se leen, el primero de ellos es la definidora `crecimiento` que se distancia considerablemente del resto, lo que implica que los alumnos definen a la evolución biológica como crecimiento. El segundo momento de quiebre es con las definidoras `cambio` y `ser humano`, lo que se puede interpretar cómo que son las que mejor definen a la evolución biológica para este grupo de alumnos después del crecimiento. Un tercer segmento lo formarían las definidoras `desarrollo`, `reproducción`, `animales` y `diferencia`. Mientras las definidoras que más se alejan de definir el modelo teórico son `mejora`, `crear` y `Tierra`.

Figura 18. Gráfica de red semántica de grupo de aplicación.



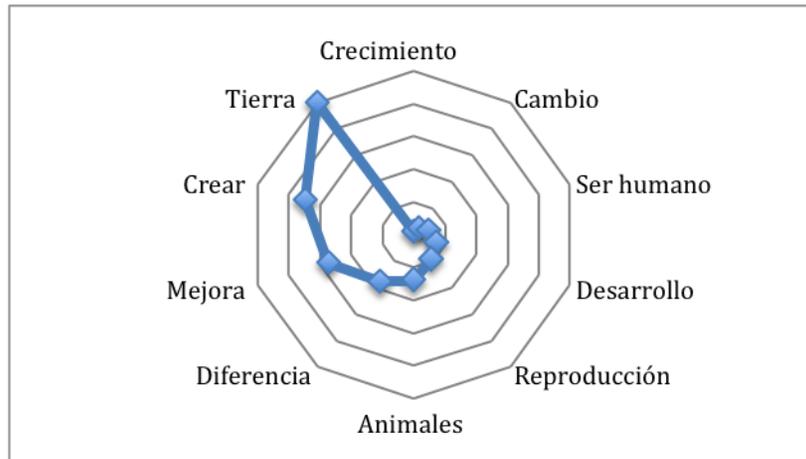
La Figura 19 representa la red semántica inicial del grupo de aplicación a la que volveremos en otro apartado de este capítulo para fines comparativos, no obstante a

partir de las definidoras aportadas en la red semántica de este grupo social podemos señalar un par de elementos:

- Primero el tipo de definidoras que utilizan los alumnos del grupo de aplicación de la estrategia para definir a la evolución biológica, están alejadas considerablemente de los elementos, relaciones y condiciones subyacentes en el modelo teórico de evolución biológica más aceptado en nuestros días -la síntesis evolutiva-, y
- Segundo debemos considerar que esta situación se presentó en el alumnado que ya había abordado previamente el modelo de evolución biológica en clases de ciencias poco tiempo antes de la aplicación de la estrategia.

A continuación caracterizaremos los modelos cognitivos evidenciados en el alumnado con el que se trabajó la estrategia didáctica.

Figura 19. Red semántica del grupo de aplicación.



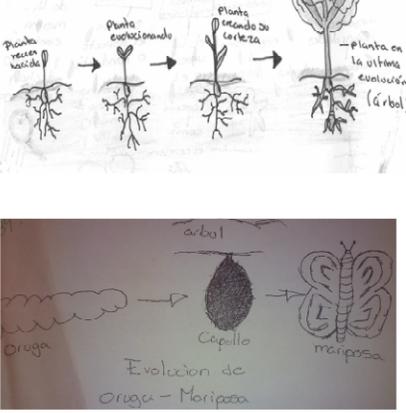
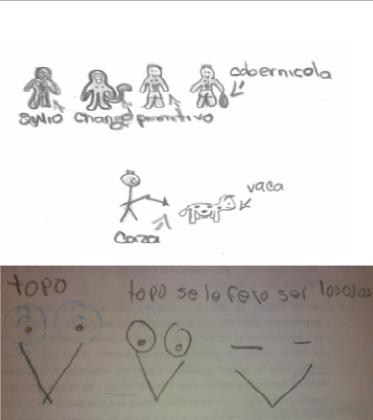
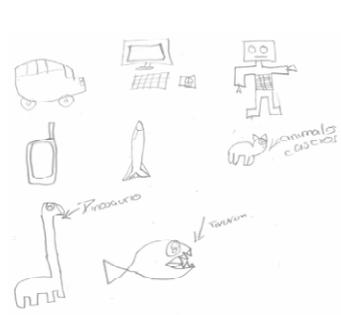
5.2 Modelos Cognitivos Iniciales (MCIs)

En el presente documento consideramos modelo cognitivo inicial a aquellas construcciones teóricas que elaboran los individuos e involucran elementos, relaciones, condiciones que les permiten explicarse un fenómeno o cuestión de la naturaleza; estos son construidos en la cotidianeidad y representan para los sujetos la mejor manera de explicación posible sobre algo en particular. Al conjunto de modelos cognitivos que aquí expondremos le llamamos iniciales porque se infieren por medio de los instrumentos, acciones y argumentos que el alumnado -con el que se desarrolló la estrategia didáctica- aportó durante las actividades de la fase de inicio de la estrategia aplicada, que permitieron evidenciar las explicaciones sobre el fenómeno de la variedad de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo que manifiestan los alumnos.

Lo que nos permite inferir los modelos cognitivos iniciales son las concepciones alternativas del grupo, expuesta en distintas actividades entre las que resaltan dibujos, expresión oral, explicitación por escritos de ellas y resolución de un ejemplo de variación de seres vivos. Antes de explicitar los modelos cognitivos iniciales es importante puntualizar que estos derivan de las construcciones del grupo primero “C” formado por 36 alumnos, grupo donde se aplicó de manera definitiva la estrategia didáctica.

Para elaborar los modelos cognitivos iniciales, se puso atención especial en las características de las concepciones alternativas expresadas de manera oral y escrita, en los dibujos de los alumnos y en la solución de una nota periodística. Durante la revisión de estos instrumentos se encontró una importante similitud entre algunas de las concepciones alternativas por lo que se decidió agruparlas, la Tabla 24 muestra algunos ejemplos de estas concepciones, y los conjuntos A, B y C que se forman a partir de considerar las similitudes que se evidencian.

Tabla 24. Expresiones de grupos de alumnos en sus concepciones alternativas.

Grupos Elementos	Concepciones alternativas	Dibujos	Transcripción de la solución de nota periódica
A	<p>"quiere evolucionar el hombre a través de los años creciendo"</p> <p>"ser humano nacimiento, crecimiento, reproducción, adolescencia, adulto y muerte"</p> <p>"crecer y reproducción a través del tiempo en años hay cambios en el cuerpo"</p>	 <p>The top diagram shows a sequence of four plants: a small seedling, a slightly larger one, a more developed one, and finally a tree. Labels include 'Planta creciendo', 'Planta creciendo de cabeza', and 'Planta en la última evolución (árbol)'. The bottom diagram shows a butterfly's life cycle: 'Oviga' (egg), 'Capullo' (caterpillar), and 'mariposa' (butterfly). The title is 'Evolucion de Ovigas - Mariposa'.</p>	<p>"El topo evoluciono al pasar el tiempo"</p>
B	<p>"cavernícolas evolucionaron a humanos"</p> <p>"los animales sufren transformaciones para ser mejor adaptados o la raza se extingue".</p> <p>"la evolución es la transformación de las cosas para mejorar mediante mecánicas del poder de evolucionar"</p>	 <p>The top part shows four stick figures labeled 'Cavita', 'Cavita primitiva', and 'cavernicola'. The bottom part shows a mole's eye evolution: 'Oreja' (ear), 'Ojo', 'vaca' (cow), and 'topo' (mole). The text below says 'topo se lo feo ser los ojos'.</p>	<p>"los topos evolucionaron porque vivian en la obscuridad y no utilizaban los ojos para ver entonces con el paso del tiempo sus ojos se fueron cerrando y hasta ciegos se quedaban"</p>
C	<p>"evolución significa cambio o avance, se utiliza para cambiar y elaborar cosas diferentes, por ejemplo nuevos diseños", "evolución es pensar en todo lo que se puede crear como cosas, regularmente se pueden mejorar, muchas veces las evoluciones -son- para adaptarse a un espacio o lugar"</p>	 <p>The sketches include a car, a computer monitor, a robot, a key, a fish, and a dinosaur. Labels include 'Tiranosaurus' and 'animales cascos'.</p>	<p>No hubo solución</p>

Los grupos A, B y C de la tabla anterior manifiestan cualidades en común que nos permiten evidenciar que son tres modelos cognitivos iniciales encontrados en el alumnado; nombraremos a cada uno de ellos a partir de algunas de las cualidades que los diferencian en mayor medida del resto -y que se exponen más adelante-, de la siguiente manera:

- 1º. Modelo cognitivo inicial evidenciado *inclinado hacia el ciclo de vida (A)*
- 2º. Modelo cognitivo inicial evidenciado *evolutivo (B)* y
- 3º. Modelo cognitivo inicial evidenciado *inclinado hacia la tecnología (C)*

En los siguientes párrafos se expondrán los distintos modelos cognitivos iniciales -en el orden antes enunciado, que se elige porque representa la frecuencia de los modelos en el grupo -el primero más frecuente que el segundo y tercero- y luego se hace una presentación de ellos-, con la siguiente estructura: primero se expondrán las concepciones alternativas, dibujos y ejercicios que los originaron permitiendo identificar elementos, relaciones y condiciones así como cualquier otro de los instrumentos que aporten información, segundo se harán explícitos los elementos, relaciones y condiciones que conforman al modelo en cuestión y por último se construirá el modelo.

Para inferir los modelos cognitivos iniciales se siguió el mecanismo enunciado en el capítulo 3, de manera individual se revisaron las construcciones del alumnado para después agrupar a aquellos que manifestaban elementos, relaciones y condiciones en común, agrupándose en algunos de los tipos de modelos iniciales antes enunciados.

5.2.1 Modelo cognitivo inicial (MCI) *inclinado hacia el ciclo de vida*

Dan cuenta de este modelo cognitivo inicial 25/36 alumnos, que relacionan a la evolución biológica con elementos como crecimiento, reproducción, muerte, maduración, desarrollo, entre otros; que hacen referencia más a un modelo teórico de ciclo de vida, en concepciones alternativas como: -la evolución- *“se relaciona al **nacer** ejemplo es el fruto lo que nace también se la conoce como evolución”, “quiere evolucionar el hombre a través de los años creciendo”, “cambio físico como cuando se ensanchan las caderas, cambio de personalidad, pensamiento, no hacer lo mismo”, “mejoramiento como mejores habilidades, crecimiento*

del organismo del cuerpo, cambios radicales en el mismo cuerpo como el cerebro, cambios solo en el aspecto o conducta”, “**ser humano nacimiento, crecimiento, reproducción, adolescencia, adulto y muerte**” y “**crecer y reproducción a través del tiempo en años hay cambios en el cuerpo**”.

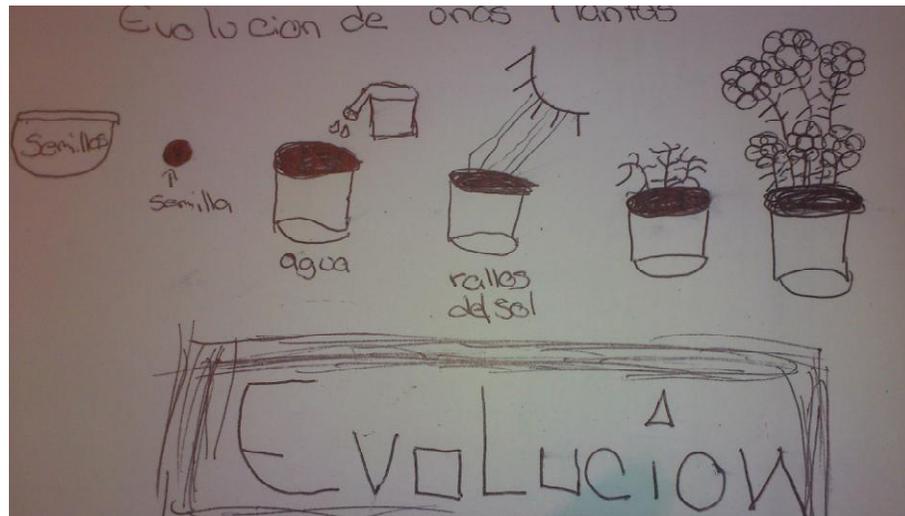
En las concepciones alternativas anteriores se han colocado en negrillas aquellas palabras que se identifican como elementos, relaciones o condiciones del modelo cognitivo inicial como son: **cambio, a través de los años (tiempo), mejoramiento, crecimiento, reproducción**, entre otras que serán recuperadas más adelante.

Además de lo expresado en las concepciones alternativas, el alumnado en el instrumento de los dibujos brindó elementos y relaciones del modelo cognitivo inicial inclinado hacia el ciclo de vida; por ejemplo las Figuras 20 y 21, donde se observa claramente que la `evolución` desde este modelo ocurre en tanto plantas como animales, es decir, en **seres vivos**, quienes serán un elemento central de este modelo cognitivo inicial.

Figura 20. Dibujo sobre la tendencia hacia ciclo de vida I.



Figura 21. Dibujo sobre la tendencia hacia el ciclo de vida II.



La observación de los dibujos anteriores permite plantear elementos y relaciones ya identificadas en las concepciones alternativas, por ejemplo que se plantea a la evolución/ciclo de vida como un proceso lineal donde el crecimiento y cambio físico permean el modelo.

A partir de las aportaciones de las concepciones alternativas se establecen los elementos, las relaciones y las condiciones que conforman al modelo evidenciado inclinado hacia el ciclo de vida en la Tabla 25, donde observamos que sólo es el elemento ser vivo, el que presenta cinco relaciones (cambio, nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte) y dos condiciones (tiempo y mejora).

Tabla 25. Elementos, relaciones y condiciones del MCI inclinado hacia el ciclo de vida.

Modelo cognitivo evidenciado inclinado hacia ciclo de vida		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo (plantas y animales)	Cambio Nacimiento Crecimiento Reproducción Muerte	Tiempo (en años) Mejora

Al observar detenidamente las relaciones que enlista la Tabla anterior es muy sencillo pensar que nos referimos al fenómeno del ciclo de vida más que al de la variedad de los seres vivos -esto debido a la presencia de fases de un ciclo de vida como son:

conducen a la mejora al desarrollarse, crecer, reproducirse y morir a través de los años, de ahí que hayamos decidido nombrar a este modelo cognitivo inicial **como inclinado hacia ciclo de vida**. A continuación expondremos el segundo modelo cognitivo evidenciado.

5.2.2 Modelo Cognitivo inicial (MCI) con rasgos evolutivos

El modelo cognitivo evidenciado con rasgos evolutivos representa a 6/36 alumnos del grupo de aplicación de la estrategia, tal modelo es inferido a partir de concepciones alternativas como las siguientes: *“la evolución es la **transformación** de las cosas para **mejorar** mediante mecánicas del **poder** de evolucionar”, “cavernícolas evolucionaron a humanos”, “**pasaron años** los animales marinos cambiaron a animales terrestres”, “hombre descubrió el fuego, evoluciona en su morada de cuevas a edificios; Su comida aprendieron a cazar y cocían su carne con el fuego...” y “los animales sufren transformaciones para ser **mejor adaptados** o la raza se **extingue**”.*

En las concepciones alternativas anteriores se señalaron en negrillas palabras que son identificadas como elementos, relaciones y condiciones del modelo cognitivo evidenciado con rasgos evolutivos como son: **transformación/cambio, mejora, pasar de los años (tiempo), adaptación y extinción**. Estas palabras se pueden inferir también en el instrumento del dibujo que se identifica con este tipo de modelo cognitivo como lo muestran las figuras 23 y 24, donde además de su relación con los elementos, relaciones y condiciones identificadas con anterioridad en las concepciones alternativas podemos observar la **tendencia lineal** de la evolución que manifiesta el alumnado en este modelo así como **una visión antropocéntrica y finalizada en el ser humano**.

Figura 23. Dibujo sobre tendencia hacia un modelo evolutivo I.

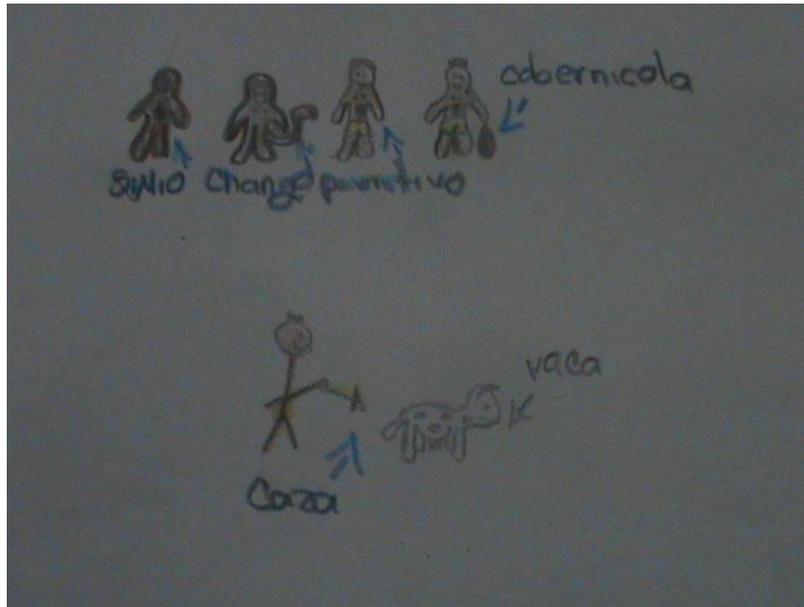
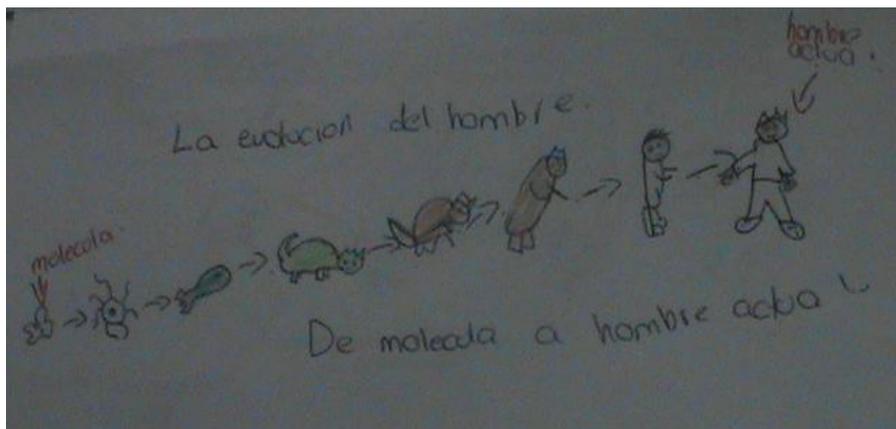


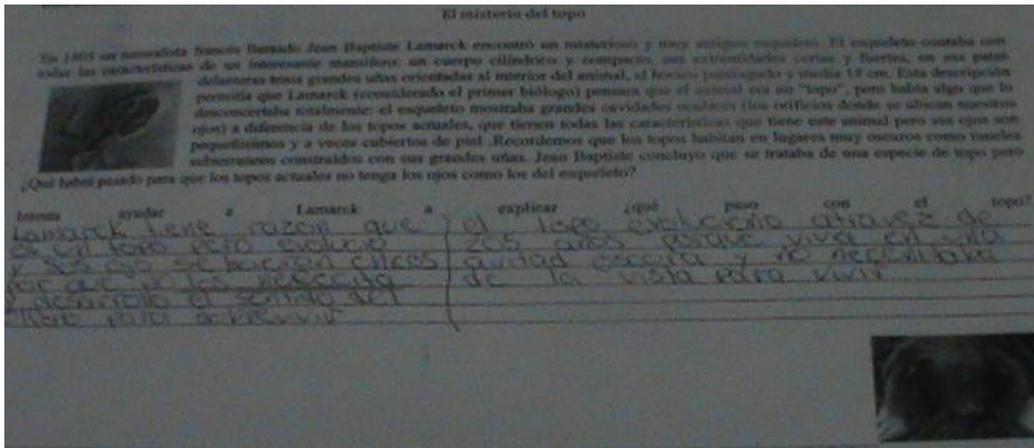
Figura 24. Dibujo sobre tendencia hacia un modelo evolutivo II.



Tanto en las concepciones alternativas anteriores escritas como en las de los dibujos identificamos elementos, relaciones y condiciones esenciales para formular el modelo cognitivo inicial con rasgos evolutivos -que serán enlistados más adelante-, no obstante la interacción entre estos elementos, relaciones y condiciones no dio cuenta de un mecanismo que explique como ocurre la evolución hasta el ejercicio del topo, donde este grupo de alumnos manifiestan un mecanismo evolutivo en concepciones alternativas como: “el topo evoluciona **a través de los años** porque vivía en un **habidad oscura** y no **necesitaba** de su vista entonces los ojos desaparecieron”, “porque pasaba más tiempo en **cuevas oscuras** que en la superficie ya que no necesitaba los ojos se hicieron pequeños y cubiertos de carne que el olfato es que **usa** ahora como ojos” y “los topos pierden la vista al paso de los años por estar en

cuevas ”;a partir del instrumento de la nota periodística del topo (Anexo 9e) y que se evidencian en ejemplos como el de la figura 25.

Figura 25. Ejemplo de mecanismo de evolución inclinado hacia el uso y desuso.



El tipo de concepciones alternativas antes expuestas aluden a que el organismo por necesidad cambio, es decir, que al no necesitar su vista en el ambiente que vivía el topo perdió los ojos, estos argumentos muestran similitud con la `ley´ del uso y desuso de Lamarck que plantea “... el desuso constante de tal órgano le debilita y hasta le hace desaparecer”(1809: 175), ya que además de que los alumnos argumentan que sí se deja de necesitar/usar un órgano se hace pequeño y desaparece, aceptan también que de usarse otros órganos más frecuentemente se fortalecerán, al esbozar concepciones alternativas como *“porque pasaba más tiempo en cuevas oscuras que en la superficie ya que no necesitaba los ojos se hicieron pequeños y cubiertos de carne que el olfato es lo que usa ahora como ojos”* (concepción alternativa alumno).

Lo anterior pone de manifiesto que el mecanismo con el que explican los alumnos que se originó la variedad de seres vivos es: que el organismo cambia por necesidad, cuando no necesita algún órgano -su vista por ejemplo- en el ambiente que vive lo pierde -el topo perdió los ojos-, lo que explicitan por medio de concepciones alternativas como: *“los topos evolucionaron porque vivían en la obscuridad y no utilizaban los ojos para ver entonces con el paso del tiempo sus ojos se fueron cerrando y hasta ciegos se quedaban”* y *“los*

topos antiguos tenían ojos grandes pero por sus depredadores tuvieron que ir se a túneles y perdieron su vista, el topo actual tiene ojos pequeños porque no necesita ver”.

Un elemento importante que nos proporciona el ejercicio del topo, además de evidenciar el mecanismo por medio del que los alumnos describen que ocurre la variedad de la vida, es que señala la implicación del **medio** en el proceso evolutivo en concepciones alternativas como: “*en un habitat oscuro*”, “*en una cueva*”, “*túneles*” y “*vivían en la oscuridad*”. Además, un asunto que se retomará posteriormente en este capítulo es que el planteamiento de mecanismo de uso y desuso como responsable de la evolución que manifiestan los alumnos, permite pensar que el modelo cognitivo evidenciado con rasgos evolutivos muestra similitud -también- con el modelo cognitivo inferido a partir de los reportes en la literatura.

Tabla 26. Elementos, relaciones y condiciones del MCI con *rasgos evolutivos*.

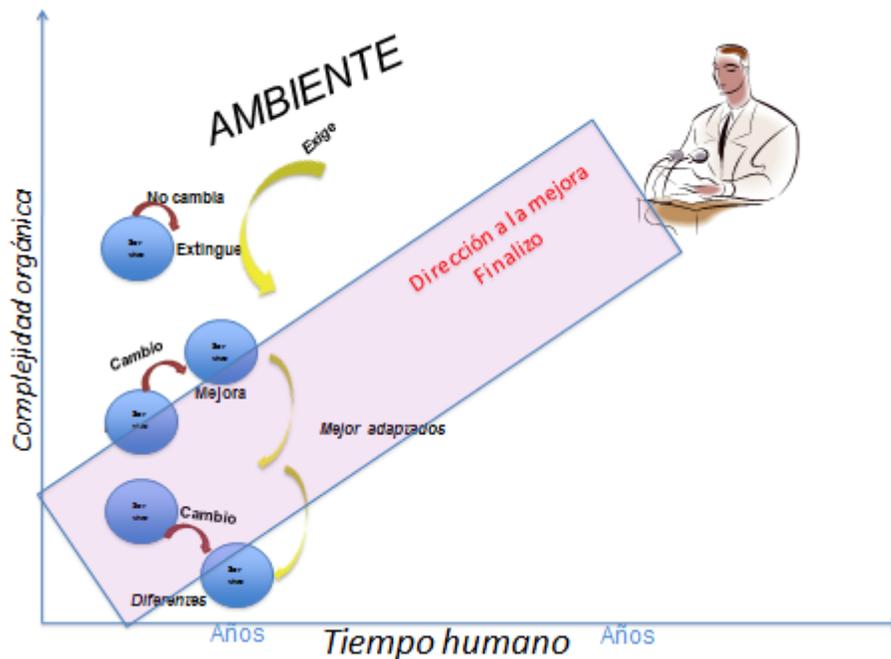
Modelo Cognitivo Inicial con rastros evolutivos		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo Ambiente	Cambio Adaptación (acostumbrarse) Extinción Diferente (simple- complejo) Necesidad	Tiempo (en años) Mejora Finalizo

Para continuar con el planteamiento del modelo cognitivo, a lo largo de este apartado se han señalado en negrillas una serie de palabras que identificamos como elementos, relaciones y condiciones que constituyen el modelo cognitivo evidenciado con rastros evolutivos y son los que se encuentran en la Tabla 26, donde identificamos que para el alumnado anclado que haya dado muestra de el MCI con rasgos evolutivos existen dos elementos, cinco relaciones y tres condiciones.

En la Tabla anterior encontramos enlistados dos elementos que son: el ser vivo y el ambiente; cinco relaciones: cambio, necesidad, adaptación, extinción y diferente; así como tres condiciones: tiempo, mejora y finalizó. Aunque entre las relaciones de este modelo cognitivo se menciona a la adaptación, esta no es vista en términos apegados

a los científicos, ya que para el alumnado adaptarse es un sinónimo de acostumbrarse más que una cualidad de nacimiento que te permite sobrevivir en un determinado medio. La Figura 26 representa el MCI con *rasgos evolutivos*.

Figura 26. Modelo Cognitivo inicial con rasgos evolutivos.



La Figura anterior mantiene se destaca que los elementos se ubican dentro de estructuras geométricas -en este caso un círculo encierran los elementos *ser vivo* y un rectángulo al *ambiente*-, mientras que las relaciones y condiciones se encuentran marcadas por flechas o líneas que indican su acción -las relaciones para este modelo son: *cambio, adaptación, extinción y diferentes*; mientras que las condiciones son: *tiempo, mejora y finalizo*.

El MCI con rasgos evolutivos también retoma el uso de los ejes X -para indicar el tiempo que es considerado en años- y Y -indicando el aumento de complejidad orgánica de simple a complejo o diferente como lo llaman los alumnos-, el resto del cuadrante se refiere a las interacciones entre elementos y relaciones que dan cuenta de la evolución biológica. Una última consideración del MCI con *rasgos evolutivos* es la

línea translúcida que indica la dirección hacia mejora del proceso evolutivo según este modelo así como la ideas de que la evolución ha finalizado.

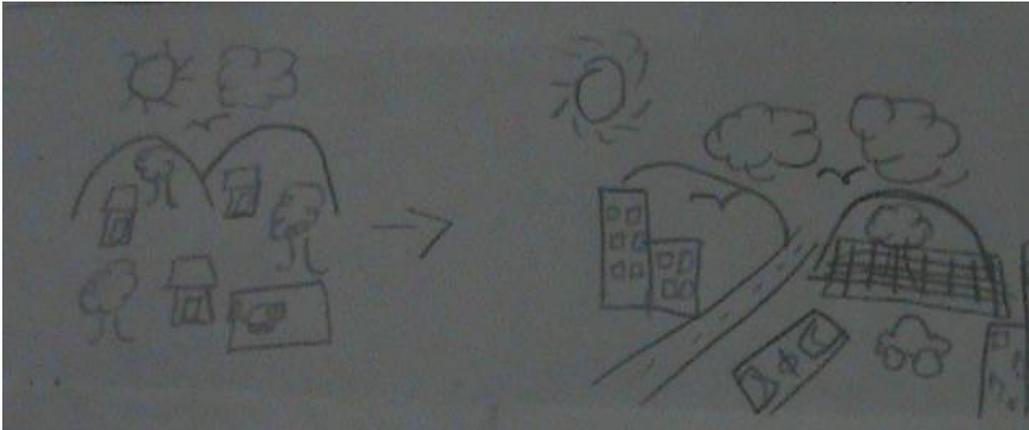
El hecho de que este modelo cognitivo evidenciado sea el único -de los tres identificados- que manifieste elementos, relaciones y condiciones que se parecen a alguna explicación sobre el modelo evolutivo que se encuentra en la historia de las ciencias, es por lo que decidimos llamarlo *con rasgos evolutivos*. A continuación se presenta el MCI *inclinado hacia la tecnología* inferido en un porcentaje de alumnos.

5.2.3 Modelo cognitivo inicial (MCI) *inclinado hacia la tecnológica*

En este modelo se posicionan 3/36 alumnos que centran su explicación sobre el modelo teórico de la evolución biológica aludiendo a cuestiones tecnológicas a este modelo cognitivo inicial le nombramos *inclinado hacia la tecnología*. Las concepciones alternativas para describir a este modelo aluden a cuestiones de creación de nuevas tecnologías por ejemplo son: “*evolución significa **cambio** o **avance**, se utiliza para cambiar y elaborar cosas **diferentes**, por ejemplo **nuevos** diseños*”, “*evolución es pensar en todo lo que se puede **crear** como cosas, regularmente se pueden **mejorar**, muchas veces las evoluciones -son- para adaptarse a un espacio o lugar*”, “*hemos evolucionado haciendo bastantes cosas, casas con madera y vidrio -que- sirven para vivir **mejor***”, “*evolución sucesos de **transformaciones** que tienen que ver con historia y cultura, sucede en los humanos con la **tecnología***” y “*puedes **crecer** en tecnología, **avanzar** es desarrollar en **mejorar** como haciendo algo*”.

En las concepciones alternativas citadas con anterioridad se señalan en negrillas las palabras que representan elementos, relaciones y condiciones que permiten vislumbrar el MCI *inclinado hacia la tecnología* por ejemplo: **cambio, avance, diferentes, nuevos, mejorar y tecnología**. Del mismo modo, al revisar los dibujos (Anexo 9g) encontramos que en ellos también se representan situaciones pertenecientes al MCI con inclinación hacia la tecnología por ejemplo la Figura 27, donde se observa la transformación de una ciudad hacia la urbanización.

Figura 27. Dibujo sobre la tendencia hacia la tecnología.



La figura anterior destaca el cambio de una ciudad planteado en dos momentos diferenciados por la relación **tiempo**, en el primer momento es visible la tendencia rural de la ciudad donde la única modificación que ha sufrido el paisaje de parte del ser humano es la construcción de casas y establos para animales. En un segundo momento es claro el **cambio** de la ciudad con aspectos de aplicación de la ciencia - **tecnología**- como la construcción de edificios, carreteras, autos y canchas, modificaciones tendenciosas a la **mejora** ya que el dibujo plantea claramente al ambiente (montañas, sol, árboles y ave) sin afectación alguna.

Tanto estas concepciones alternativas como los dibujos permiten que enlistemos una serie de elementos, relaciones y condiciones que conforman el MCI inclinado hacia la tecnología como los encontramos en la Tabla 27, donde se plantea que existen dos elementos (ser humano y ambiente) y cinco relaciones (cambio, avance, tecnología, nuevo y diferente) y dos condiciones, lo que implica una relación de poco más de 3 a 1, es decir, por cada elemento existente en el modelo encontramos poco más de 3 relaciones.

Tabla 27. Elementos, relaciones y condiciones del MCI inclinado hacia la tecnología.

Modelo cognitivo inicial inclinado hacia la tecnología		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser humano Ambiente	Cambio Avance Tecnología Nuevo Diferente	Tiempo (en años) Mejora (calidad de vida)

Debido al bajo porcentaje de alumnos (3 de 36 alumnos) que se posicionan desde sus concepciones alternativas en este MCI t es que hemos decidido no elaborar su representación gráfica. No obstante es importante puntualizar algunos asuntos sobre el MCI *inclinado a la tecnología*: la relación primordial que se presenta en este modelo es la de **cambio** del **ambiente** por la acción del **ser humano**, este cambio se presenta en determinado **tiempo** originando ambientes **diferentes** a los originales ya que tienen cosas **nuevas** que implican un **avance tecnológico**, este avance es tendencioso a la **mejora** en la calidad de vida de los seres humanos.

El párrafo anterior representa el resumen de lo que para una minoría del grupo de aplicación de la estrategia didáctica es evolución biológica, en el se han señalado en negrillas tanto los elementos, las relaciones y las condiciones que conforman el modelo cognitivo inicial *inclinado hacia la tecnología*, que justo recibe ese nombre por la tendencia a cuestiones tecnológicas que mantuvo el modelo.

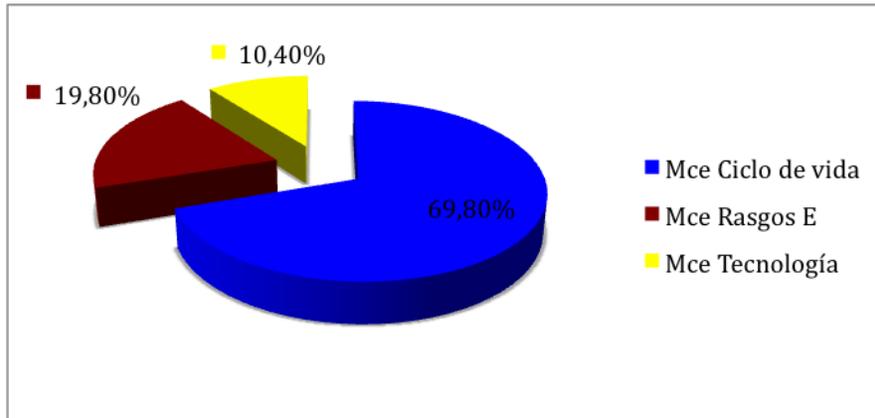
A continuación se plantearan algunas generalidades que surgen al comparar los tres modelos cognitivos evidenciados, que es importante mencionar para enmarcar las igualdades y desigualdades que pueden presentar unos y otros al mirarse en conjunto.

Sobre los modelos cognitivos iniciales

En este apartado se plantearan situaciones generales que aporta una revisión de los modelos cognitivos iniciales de manera general, la primera de ellas es sobre el porcentaje de alumnos que se posicionaron en cada uno de los modelos: como lo muestra la Figura 28 la mayor parte de los alumnos -25/36 en azul- argumentaron y

elaboraron cuestiones que los posicionan en el MCI *inclinado hacia el ciclo de vida*; mientras un porcentaje considerablemente menor -6/36 en rojo- se ubica el MCI con *rasgos evolutivos* y muchos menos alumnos -3/36 en amarillo- se colocan desde sus concepciones alternativas -expresadas en texto, gráfico y discurso- en el MCI *con inclinación a la tecnología*.

Figura 28. Porcentaje de alumnado que se posiciona en los MCIs.



La gráfica de la figura 28 implica que el punto de partida para la estrategia didáctica **‘construcción de modelos científicos escolares sobre la variedad de seres vivos: una estrategia didáctica sustentada en la modelización’** de la mayoría de los alumnos es un modelo cognitivo inicial que explica en gran medida la variedad de seres vivos con aspectos del modelo teórico de ciclo de vida; por lo tanto la mirada crítica que se haga de la estrategia didáctica en apartados posteriores tendrá que tomar este aspecto en cuenta.

En otro orden de ideas, al comparar el número y naturaleza de elementos, relaciones y condiciones que conforman a cada uno de los modelos cognitivos iniciales encontramos varios aspectos a mencionar:

- Los elementos que conforman tanto al MCI con rasgos evolutivos como al MCI inclinado a la tecnología son los mismos: **ambiente** y **ser vivo** (ser humano en el caso del segundo modelo); lo que diferencia a estos modelos es la naturaleza de las

relaciones que entablan entre los elementos. Mientras en el caso del MCI inclinado hacia ciclo de vida es solo un elemento el que lo conforma: **ser vivo**.

- La relación **cambio** se presenta en los tres modelos cognitivos iniciales . El resto de las relaciones en cada modelo son distintas y matizan a cada uno de ellos haciéndolos diferentes.
- Las condiciones **tiempo** y **mejora** se presentan en los tres modelos cognitivos iniciales, la referencia del tiempo es desde una visión en años (tiempo humano).

Otra de las situaciones que es evidente al observar los tres modelos cognitivos iniciales en conjunto es que así como sus diferencias son notorias, existen asuntos en común y es esencial puntualizarlos, entre ellos resaltan: la idea sostenida de la dirección hacia la mejora del proceso evolutivo, la visión lineal evolutiva y el uso distinto al científico en el marco del modelo científico evolutivo de algunos conceptos -como adaptación y cambio por ejemplo-. El hecho de que se compartan estos aspectos en los tres modelos cognitivos evidenciados implica que son de las cuestiones que de fondo se apegan más a lo que el grupo de aplicación de la estrategia considera evolución biológica lo que de alguna manera se encontraba apuntado en la literatura y se tomo en consideración al construir la estrategia didáctica `construcción de modelos científicos escolares sobre variedad de los seres vivos: una estrategia didáctica sustentada en la modelización´

Después de plantear en los párrafos anteriores los aspectos generales que se evidencian en los MCIs, en el siguiente apartado se realiza una comparación entre los tres modelos cognitivos evidenciados y el MC inferido de los reportes en la literatura al respecto de la enseñanza de la evolución biológica.

5.3 Contraste entre MC reportado en la literatura y los MCIs.

Con la finalidad de comparar el modelo cognitivo (MC) inferido a partir de los reportes en la literatura sobre la enseñanza de la evolución biológica y los modelos cognitivos evidenciados iniciales (MCIs) inferidos a partir de la indagación de las concepciones alternativas del grupo de desarrollo de la estrategia, es que la Tabla 28 enlista los elementos y las relaciones de cada uno de los modelos mencionados para identificar posibles similitudes y diferencias entre ellos.

Tabla 28. Elementos y relaciones de los MC y MCIs.

MODELOS	ELEMENTO (s)	RELACIONES	CONDICIONES
<i>Modelo Cognitivo de la evolución biológica inferido de los reportes de la literatura</i> (MC)	Ser vivo Ambiente	Cambio Adaptación/Acostumbrarse (individual) Exigencia Herencia Perfeccionamiento Poder supremo Deseo interno	Tiempo humano Finalizo Mejora
<i>Modelo Cognitivo evidenciado inclinado hacia el ciclo de vida</i> (MCI cv)	Ser vivo (plantas y animales)	Cambio Nacimiento Crecimiento Reproducción Muerte	Tiempo (en años) Mejora
<i>Modelo Cognitivo evidenciado con rasgos evolutivos</i> (MCI re)	Ser vivo Ambiente	Cambio Adaptación (acostumbrarse) Extinción Diferente (simple- complejo) Finalizo Necesidad	Tiempo (en años) Mejora
<i>Modelo cognitivo evidenciado inclinado hacia la tecnología</i> (MCI t)	Ser humano Ambiente	Cambio Avance Tecnología Nuevo Diferente	Tiempo (en años) Mejora (calidad de vida)

La comparación se hace con la finalidad de conocer la similitud o distancia entre lo reportado en el ámbito de la educación en ciencias y lo identificado durante la presente investigación. El orden en que se acomoda cada modelo en dicha Tabla tiene que ver con el orden de aparición en la presente tesis: primero el modelo cognitivo inferido de los reportes -capítulo 1-, segundo el modelo cognitivo inicial con inclinación hacia el ciclo de vida, tercero el modelo cognitivo inicial con rasgos evolutivos y por último el modelo cognitivo inicial inclinado hacia la tecnología.

Al contrastar los datos de la Tabla anterior podemos encontrar tanto similitudes como diferencias entre los cuatro modelos, algunas de ellas más considerables que otras. Del mismo modo podemos observar como algunos modelos son más cercanos entre ellos que con otros a simple vista, por ejemplo el MC y el MCI con rasgos evolutivos muestran gran similitud por un lado y se distancian de forma considerable con el resto de los modelos, aunque puedan compartir algunas condiciones. De este tipo de aspectos comparativos trataremos en el presente apartado.

Comenzaremos señalando algunas semejanzas que comparten todos los modelos, recordando que los cuatro (MC y los tres MCIs) tratan sobre el modelo teórico de la evolución biológica, razón por la que no debe ser extraño que compartan alguna cualidad. En ese sentido encontramos que todos los modelos contienen el elemento ser vivo -representado por el ser humano en el caso del MCI inclinado hacia la tecnología- y la relación cambio; así como las condiciones tiempo -en años-, y mejora en su conformación -razón por la que han sido señalados en negrillas en la Tabla 26-. No obstante, las interacciones que se dan entre este elemento y todas las relaciones de los modelos, hacen que sean de naturaleza tan distinta que posibilite su diferenciación; diferencias que aclaramos en los siguientes puntos:

- En cuanto al cambio: mientras que para el MCI *inclinado hacia el ciclo de vida* es un cambio que ocurre en un ser vivo a lo largo de su vida cuando se desarrolla -por lo que estos cambios están en acción ahora mismo-, para la concepción de cambio de los modelos MC y MCI *con rasgos evolutivos* es diferente ya que los cambios han permitido a los seres vivos estar mejor `adaptados´ a su ambiente o a ellos mismos y han finalizado. Por último el MCI *inclinado a la tecnología* plantea que los cambios se dan en el ambiente por la acción del ser humano.
- Mientras que el tiempo sí muestra una similitud total en los cuatro modelos pues es considerado en años, al igual que la dirección de mejora del proceso evolutivo.

Para referirnos al resto de las diferencias identificadas entre los modelos, nos apoyaremos en la Tabla anterior y en la figura 29 -donde se observan las representaciones de los MCIs y el MC y se encuentra más adelante-, a partir de las cuales podemos afirmar que son varias las diferencias y que sobre todo se establecen entre el MC y el MCI con *rasgos evolutivos* por un lado y el MCI *inclinado hacia el ciclo de vida* y MCI *inclinado hacia la tecnología* por otro. La Tabla 29 contiene algunos aspectos generales en los que, por comparación, pudieran ser notorias las diferencias entre los cuatro modelos.

Tabla 29. Comparación entre MC y MCIs desde aspectos que las diferencian.

Modelos	Elemento (s)	Relaciones diferentes	Mecanismo evolutivo	Visión del proceso	Centrado en...	Fuerza que impulsa	En acción
MC	Ser vivo Ambiente	Adaptación/Acostumbrarse Exigencia Herencia	Uso y desuso	Antropocéntrica	Ser vivo	Poder supremo Deseo interno	Finalizo
MCI con rasgos evolutivos	Ser vivo Ambiente	Adaptación/acostumbrarse Extinción Diferente(simple-complejo)	Uso y desuso	Antropocéntrica	Ser vivo	Necesidad	Finalizo
MCI inclinado hacia la tecnología	Ser humano Ambiente	Tecnología Nuevo Diferente	Ninguno	Tecnológica	Ambiente	Avance	Sigue
MCI inclinado hacia el ciclo de vida	Ser vivo	Nacimiento Crecimiento Reproducción Muerte	Ninguno	Ciclo de vida	Ser vivo	Desarrollo	Sigue

La Tabla anterior es la primera columna, enuncia a cada uno de los modelos cognitivos -tanto el inferido de la literatura MC como los iniciales en la aplicación de la estrategia MCIs- desglosa las siguientes columnas alguno de los aspectos que permiten evidenciar diferencias entre los modelos de acuerdo a los criterios seleccionados. El primero de los aspectos que marcan diferencia entre los modelos se refiere a los 'elementos' que los constituyen, siendo las diferencias visibles dos: la primera que el MCI inclinado *hacia el ciclo de vida* solo tiene el elemento ser vivo mientras el resto de los modelos tienen dos elementos constitutivos (ambiente y ser vivo) y la segunda diferencia es que el MCI *inclinado hacia la tecnología* muestra como elemento constitutivo al ser humano en el lugar donde los otros modelos colocan al ser vivo como término más abarcativo.

El segundo de los aspectos que permiten observar diferencias tiene que ver con las relaciones en los modelos, pues se evidencia una cercanía entre el MC y MCI con *rasgos evolutivos* al considerar relaciones como ‘adaptación’ y ‘acostumbrarse’ en ambos modelos aunque se diferencian por consideraciones como la herencia y la exigencia del ambiente por un lado (el MC) y la extinción y complejidad orgánica por otro (MCI *con rasgos evolutivos*). También se evidencia que existe una lejanía considerable entre estos dos modelos mencionados y el MCI *inclinado a la tecnología* y una mucho más notoria en el caso del MCI *inclinado hacia el ciclo de vida*, en el que todas las relaciones se refieren a fases de un ciclo vital: nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte.

El tercer aspecto es el mecanismo que los modelos utilizan para explicar cómo ocurre la evolución, y encontramos que sólo el MC y el MCI con *rasgos evolutivos* ofrecen un mecanismo y es el ‘uso’ y ‘desuso’ -evidenciando semejanza-; mientras el resto de los modelos no explicitan ningún mecanismo.

El cuarto aspecto es sobre ¿cuál es la ‘visión del proceso’ evolutivo de cada modelo?, Una vez más el MC y MCI con *rasgos evolutivos* muestran semejanza al posicionarse en una visión evolutiva antropocéntrica, en la que atribuyen a todos los seres vivos cualidades humanas como el ‘deseo interno’. Mientras tanto el MCI *inclinado a la tecnología* muestra una visión tecnológica donde lo importante es la creación de nuevas cosas. Por último el MCI *inclinado al ciclo de vida* concibe a la evolución desde una visión de ‘ciclo de vida’.

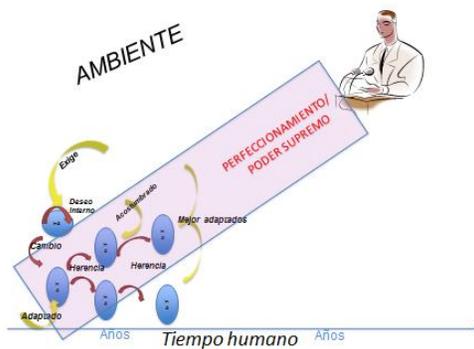
El quinto aspecto se refiere a ¿En quién se centran los cambios producto de la evolución?, la única diferencia es que el MCI *inclinado a la tecnología* plantea que los cambios ocurren en el ambiente -por medio de la acción del hombre-, mientras el resto de los modelos apuntan que los cambios ocurren en los seres vivos (de manera individual no agrupados en poblaciones).

El penúltimo aspecto se refiere a la `fuerza` que impulsa al proceso evolutivo, en este aspecto todos los modelos se diferencian de MC -que remite a que es el deseo interno o el poder supremo-, pues el MCI con rasgos evolutivos señala que es la `necesidad`, el MCI inclinado a la tecnología sugiere que es el avance y el MCI inclinado hacia el ciclo de vida indica que es el desarrollo.

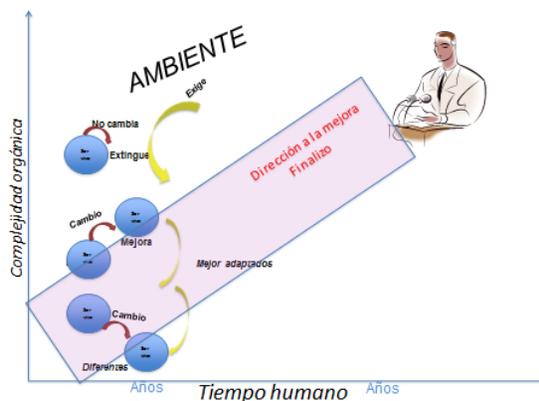
Por último está el aspecto de que el proceso evolutivo sigue en `acción`. Para este aspecto el MC y MCI *con rasgos evolutivos* concuerdan que ha finalizado en el ser humano, mientras el MCI *inclinado a la tecnología* y el MCI *inclinado hacia el ciclo de vida* indican que sigue en acción.

Figura 29. MC inferido de la revisión de la literatura y MCIs.

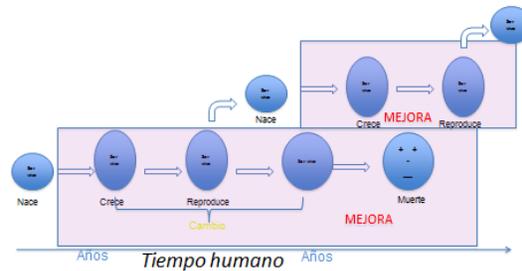
a) Modelo Cognitivo inferido



b) MCI con rasgos evolutivos



c) MCI inclinado a ciclo de vida



Tanto las diferencias como las similitudes entre los cuatro modelos que pudimos enunciar a partir de lo evidenciado tanto en las Tablas 23 y 24 como en la figura 23 donde se exponen las representaciones gráficas de los modelos -excepto la del MCI inclinado hacia la tecnología ya que por el bajo número de alumnos que se ubicaban en el decidimos no elaborar la representación gráfica-, permiten que a modo de conclusión de apartado señalemos que:

- Existe gran similitud entre el MC y MCI con rasgos evolutivos, lo que implica cierta congruencia entre lo reportado en la literatura y lo encontrado en el grupo de desarrollo de la estrategia didáctica. Aunque debemos aclarar que el MCI con rasgos evolutivos no es el modelo cognitivo evidenciado más frecuente, ya que solo se posicionaron en él 6/36 de los alumnos.
- Las diferencias más notorias se presentan entre el MC y el MCI con rasgos evolutivos y el MCI inclinado hacia el ciclo de vida. .

En resumen, durante este apartado observamos como el MC y el MCI con rasgos evolutivos muestran grandes similitudes, sin embargo al considerar que el modelo cognitivo que representa a la mayoría de la población escolar con la que se trabajó fue el MCI inclinado hacia el ciclo de vida (25/36), podemos afirmar que los hallazgos durante la fase de inicio de la estrategia que nos permitieron inferir los MCIs son un tanto distintos a lo reportado en la literatura respecto al fenómeno de evolución biológica.

5.4 Modelos Científicos Escolares Intermedios (MCEI)

En esta sección identificaremos los modelos teóricos que fueron elaborando los alumnos con los que se desarrolló la estrategia, durante los distintos tipos de actividades. Como punto de partida queremos aclarar que nos referimos a modelo científico escolar (MCEI) como una construcción organizada, jerarquizada y compleja de elementos y relaciones que los alumnos construyen a partir de la actividad docente planeada en una estrategia de intervención. Es decir, que los modelos científicos escolares son aquellos que se construyen a partir de la actividad científica en el aula (Izquierdo *et al*, 1999).

Identificar las diferencias que se van produciendo en los alumnos en cada una de las actividades de la estrategia es una tarea exhaustiva, por ello se ha decidido hacer dos `cortes` donde se revisan los productos de algunas actividades para conocer el modelo científico escolar que van elaborando los alumnos. Estos son: al finalizar las actividades de introducción de nuevas ideas (al termino de la actividad de `hasta ahora que se sabe sobre la evolución`) y al final de las actividades de síntesis (al termino del mapa conceptual), y exponer los modelos a continuación.

5.4.1 Primer corte: modelos científicos escolares intermedios (MCEI) en las actividades de introducción de nuevas ideas

La decisión de hacer un alto e identificar y analizar lo que pasa con el modelo científico escolar del alumnado, justo después de la resolución de la actividad de `hasta ahora que se sabe sobre la evolución`, es porque un gran porcentaje (69.8%) del alumnado manifiesta un MCI inclinado hacia el ciclo de vida, por ello puntualizar las diferencias entre procesos como crecimiento y evolución mediante la actividad científica en el aula es primordial y la actividad de `hasta ahora que se sabe sobre la evolución` permite enfatizarlo.

Durante la actividad de `hasta ahora que se sabe sobre la evolución`, se hicieron una serie de preguntas al alumnado intentando identificar posibles cambios en su MCI hacia la elaboración de un modelo científico escolar mas cercano al MCEA. En los hallazgos

evidenciamos dos tipos de respuestas en la actividad, los que se exponen en la Tabla 30 como grupos A1 y B1.

Tabla 30. Argumentos de grupos de alumnos al concluir la actividad `Hasta ahora que se sobre evolución´

Grupos	Argumentos Evolución biológica es...	Argumentos Evolución biológica y crecimiento son lo mismo...
A1	<p><i>“la evolución es como crecimiento y cambio en esa persona o animal les cambian muchas cosas”</i></p> <p>“La evolución es cuando un animal, pasan los años y cambia el tamaño de sus patas, ojos, piel y boca”</p> <p>“Es cuando vamos evolucionando como cambios de las personas para poder seguir adelante”</p>	<p>“No”</p> <p><i>“No, porque son cosas distintas la evolución dura millones de años y crecer sería por ejemplo nosotros hasta los 75”</i></p> <p><i>“No, porque evolucionas de distinta manera y crece como estar más alto y todo eso ...”</i></p>
B1	<p><i>“es un cambio en un animal o ser vivo pasan muchos años y van cambiando los ojos, piel y patas de todas las especies”</i></p> <p><i>“es el desarrollo de todas las especies”</i></p>	<p><i>“No, crecimiento es el cambio en una persona en corto tiempo y evolución es un cambio drástico en mucho tiempo”</i></p> <p>“No, los cambios en la evolución son distintos a los del crecimiento”</p>

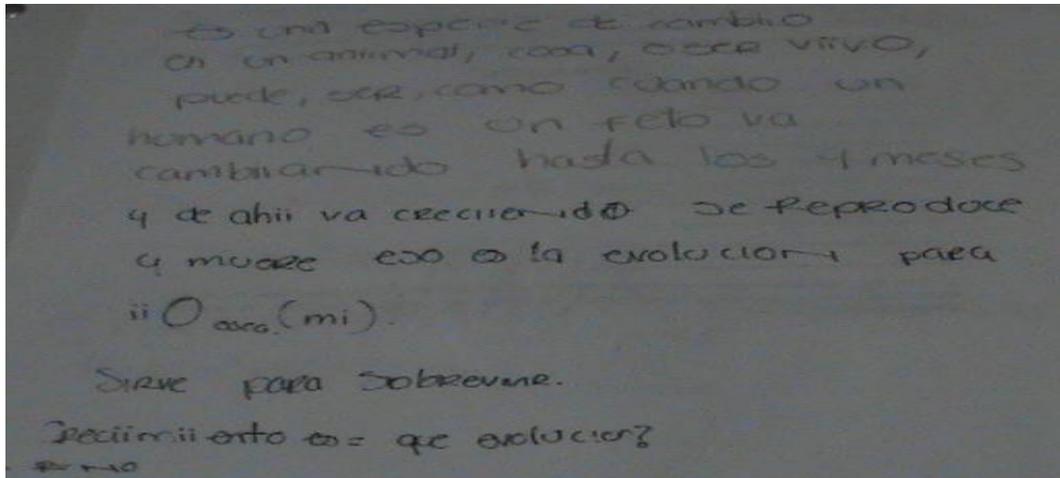
A estos grupos -A1 y B1- hemos decidido nombrar representantes del modelo científico escolar *inclinado hacia el ciclo de vida (A1)* -que asumimos proviene del MCI *inclinado hacia el ciclo de vida*- y del modelo científico escolar evolutivo (B1) -que suponemos proviene del MCI *con rasgos evolutivos*-, debido a las peculiaridades que muestran y que planteamos a continuación.

5.4.1.1 El modelo científico escolar (MCEI) *inclinado hacia el ciclo de vida*

El modelo científico escolar intermedio *inclinado hacia el ciclo de vida* se infiere a partir de las respuestas de 23/36 alumnos que, ante la preguntas como ¿qué es la evolución biológica? contesta: *“tener cambios en nuestro cuerpo crecer con el paso del tiempo vamos evolucionando paso a paso nos va cambiando la voz”*,y *“es una especie de cambio en un ser vivo como cuando un humano es feto va cambiando hasta los 9 meses y de ahí va creciendo se reproduce y muere”*

esa es la evolución para mi y sirve para sobrevivir” como lo ejemplifica la Figura 30-. Los planteamientos anteriores, además de sostener cualidades del ciclo de vida dentro del modelo de evolución van introduciendo ya ideas como ‘sirve para sobrevivir’, lo que es una de las relaciones medulares en el MCEA.

Figura 30. Ejemplo de respuesta tipo modelo científico escolar inclinado hacia ciclo de vida.



No obstante, aunque este grupo de alumnos dan respuestas claramente inclinadas hacia el ciclo de vida, al preguntarles si ¿evolución es lo mismo que crecimiento? un 83% contestan que no, argumentando cuestiones como las siguientes: “no. crecimiento es crecer y evolución es cambiar en millones de años” y “no, crecimiento es desarrollarse y evolución cambiar en millones de años”. Estas afirmaciones nos conducen a un primer planteamiento: que los alumnos aun no tienen claridad en lo que es la evolución, por ello -aunque al definirla incluyen elementos del ciclo de vida como crecimiento, cuando se les pregunta directamente sobre la situación de igualdad que plantean entre evolución y crecimiento, la mayoría dicen que no existe.

Un segundo planteamiento es el hecho de que el tiempo esta comenzando a ser considerado en lapsos prolongados -como millones de años-, situación esencial para acercarnos al MCEA; por ello es importante señalar esta modificación y enunciar todas las relaciones y condiciones que conforman al modelo, lo que se hace en la Tabla 31,

donde además de señalar en negrillas la modificación en la relación tiempo se establecen el elemento y relaciones de este modelo teórico en los alumnos.

Tabla 31. Elementos, relaciones y condiciones del modelo científico escolar inclinado hacia el ciclo de vida.

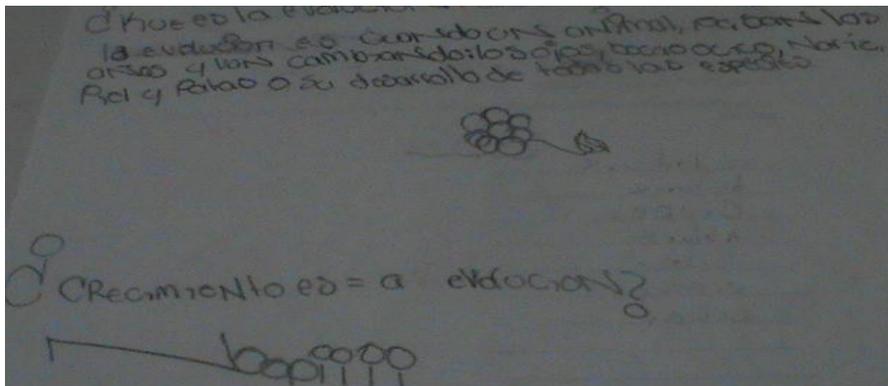
Modelo científico escolar inclinado hacia el ciclo de vida		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo	Cambio Nacimiento Crecimiento Reproducción Muerte	*Tiempo (en millones de años/geológico) Mejora

Como el modelo científico escolar *inclinado hacia el ciclo de vida* en este momento de corte es muy cercano al MCI *inclinado hacia ciclo de vida* no se elabora una representación gráfica. Aunque si se señala que los cambios considerables son: la visión de tiempo en millones de años y el que los alumnos comienzan a plantear que el crecimiento es distinto a la evolución.

5.4.1.2 El modelo científico escolar intermedio (MCEI) evolutivo

El modelo científico escolar evolutivo representa a 13/36 alumnos que ante la pregunta ¿qué es evolución? contestaron: “por ejemplo si un ave va al polo y a través del tiempo puede **sobrevivir su especie**, ahí para eso debe pasar mucho tiempo”, “es cambiar para poder adaptarse aun lugar y sobrevivir” y “es el cambio en una **especie** se da para la **sobrevivencia** a un **entorno** tiene que acostumbrarse al cambio constante”, -como lo ejemplifica la figura 31-.

Figura 31. Ejemplo de respuestas del modelo científico escolar evolutivo.



Las respuestas anteriores además de recuperar elementos y relaciones del MCI con *rasgos evolutivos* apuntan nuevas ideas que son señaladas en negrillas en la Tabla 32, donde se exponen los elementos, relaciones y condiciones de este modelo científico escolar, que resalta la introducción de elementos como **especie** y **sobrevivir** en este grupo de alumnos.

Tabla 32. Elementos y relaciones del modelo científico escolar *evolutivo*.

Modelo científico escolar evolutivo		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo Ambiente Especie	Cambio Adaptación (acostumbrarse) Extinción Diferente (simple- complejo) Sobrevivencia	Tiempo (lapsos prolongados) Mejora

Ante la pregunta ¿evolución es igual que crecimiento? el total de los alumnos de este grupo contestaron que **no**, argumentando : “no, la evolución es en una especie y el crecimiento en una sola persona” y “no, crecimiento es cuando crecemos nosotros de bebés a adultos y evolución cuando cambian todos los topos por ejemplo”.

Del mismo modo que en el caso del modelo científico escolar *inclinado hacia el ciclo de vida (MCIcv)*, no se realizará representación gráfica del modelo científico escolar evolutivo por ahora; aunque sí apuntamos que las modificaciones de este modelo científico escolar -que suponemos proviene del MCI con *rasgos evolutivos* identificado en la fase de inicio- son considerables: la introducción de un nuevo elemento **especie** y una relación **sobrevivencia**. También esta la introducción de la condición tiempo en lapsos prolongados. A continuación se tratan los modelos científicos escolares que construye el alumnado en otro momento de la estrategia.

5.4.2 Segundo corte: modelos científicos escolares intermedios (MCEI) subyacente en las actividades de síntesis

En el apartado anterior establecimos dos primero modelos científicos escolares que los alumnos han construido a partir de las actividades de introducción de nuevas ideas. A

continuación abordaremos la construcción de los modelos intermedios a partir de realizar un corte en las actividades de síntesis. El segundo corte lo realizamos al terminar la actividad de elaboración grupal de un mapa conceptual sobre evolución biológica. Durante ésta se les solicitó a los alumnos que enunciaran un conjunto de palabras necesarias para definir evolución, la Tabla 33 agrupa las palabras elegidas.

Tabla 33. Palabras para elaborar el mapa conceptual grupal sobre evolución.

Evolución
Cambio
Especie
Tiempo (m.a)
Variabilidad
Adaptación
Ambiente
Sobrevivir
Ser vivo
Mejora
Genética

Después de explicitar las palabras enlistadas en la Tabla anterior, por medio del consenso y la argumentación grupal del alumnado, se establecieron conectores que permitieron formar un mapa conceptual representado en la figura 32, de donde podemos desprender las siguientes cuestiones teóricas de la explicación del alumnado:

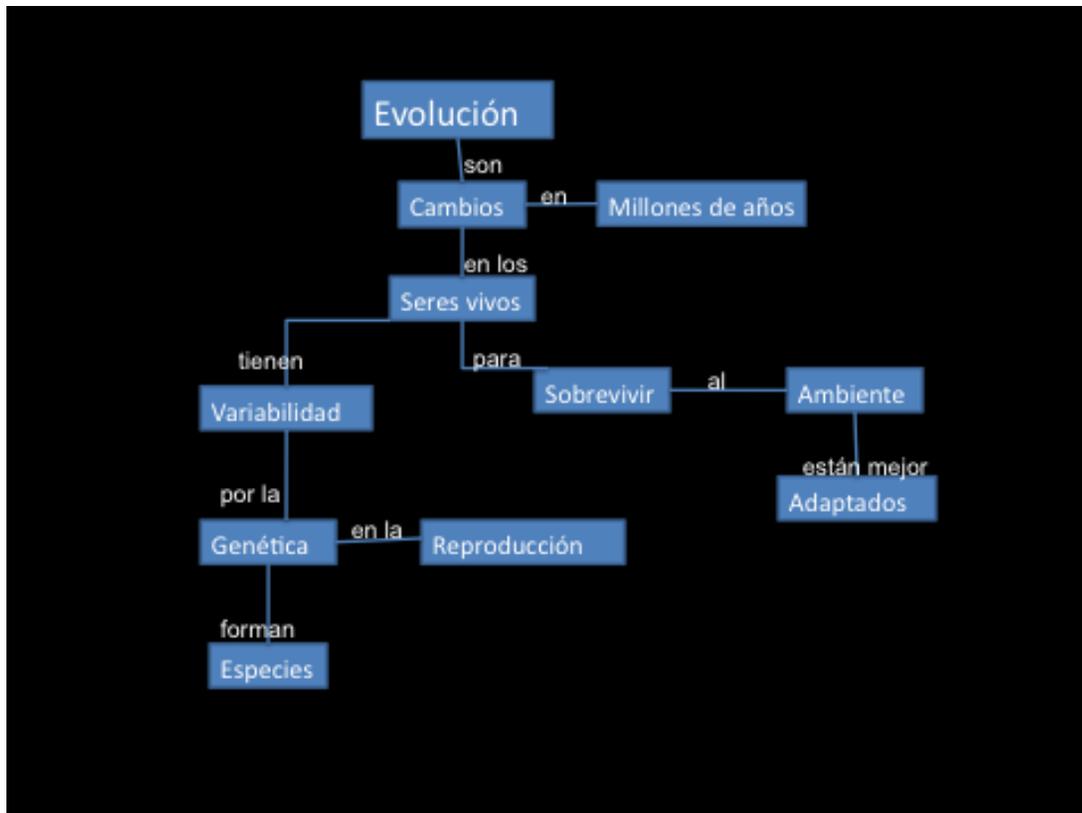
1. Los alumnos manifiestan que la evolución son cambios que se produce en millones de años en los seres vivos.
2. Los seres vivos cambian para sobrevivir a un ambiente.
3. Los cambios les permiten estar mejor adaptados al ambiente.
4. Los seres vivos tienen variabilidad por la genética que se combina durante la reproducción.
5. Los seres vivos forman especies.

Los tres primeros enunciados mantienen una relación estrecha entre sí -y forman una de las ramificaciones del mapa conceptual grupal-, mientras que los dos últimos

enunciados no parecen mantener una relación estrecha con los primeros, aunque para los alumnos son situaciones explicativas del fenómeno de la evolución biológica.

Cabe resaltar, que el mapa conceptual de la siguiente figura es una copia gráfica del elaborado en el grupo de aplicación de la estrategia -la calidad del video grabado es mala, lo que hace imposible extraer una fotografía legible del mismo-, y que cumple la función de aportar elementos de análisis para inferir el modelo científico escolar intermedio al que hemos nombrado *evolutivo* por los elementos y relaciones teóricas que sostiene y que son expuestos en el siguiente apartado.

Figura 32. Mapa conceptual grupal sobre evolución biológica elaborado por el grupo 1ero "C".



5.4.2.1 El modelo científico escolar intermedio *evolutivo*

A partir del planteamiento del mapa conceptual inferimos los elementos y relaciones del modelo científico escolar del alumnado en esta fase intermedia de la estrategia, que se exponen en la Tabla 34.

Tabla 34. Elementos, relaciones y condiciones del modelo científico escolar *evolutivo* intermedio

<i>Modelo científico escolar evolutivo intermedio</i>		
<i>Elementos</i>	<i>Relaciones</i>	<i>Condiciones</i>
Ser vivo Especie Ambiente	Cambio Adaptación Variabilidad Sobrevivencia Genética Reproducción	Tiempo geológico (millones de años) Mejora

En la Tabla anterior podemos observar que el número de elementos de este modelo intermedio es tres -elementos que se venían manifestando en los productos y participaciones del alumnado de manera paulatina desde otros momentos de la estrategia-, las relaciones son seis, mientras que las condiciones son dos.

Por otro lado, al comparar los elementos, relaciones y condiciones de este modelo intermedio -al que hemos denominado modelo científico escolar *evolutivo* -con el **modelo científico escolar *evolutivo*** de las actividades de introducción de nuevas ideas -del que consideramos que deriva- encontramos la introducción de relaciones como **reproducción**, **variabilidad** y **genética** ausentes en otros modelos hasta el momento.

La Figura 33 representa el modelo científico escolar intermedio *evolutivo*, donde se ponen en interacción los elementos, relaciones y condiciones agrupadas en la Tabla anterior, en un gráfico que mantiene coherencia con los modelos anteriores en cuanto a que los elementos se encuentran dentro de figuras geométricas y las relaciones y condiciones señaladas por una flecha, así como que el eje X indica el transcurso del tiempo y una flecha traslucida la dirección del proceso y su continuidad.

Figura 33. Modelo científico escolar intermedio *evolutivo*.



El modelo científico escolar intermedio, representado en la figura 33 observamos dos aspectos teóricos -que se habían presentado con anterioridad-: primero que el significado que para el alumno tiene la palabra adaptación aun no es claro en este momento de la estrategia; ya que por la manera de establecer relaciones en el modelo pareciera que los alumnos siguen equiparando la adaptación a acostumbrarse como sucedía anteriormente; y segundo este modelo no permite observar si para el alumnado el proceso de evolución biológica sigue en acción o ya finalizó.

Asuntos que sí son claros en el modelo científico escolar intermedio son tres: el primero es que sigue permeando una visión hacia la **mejora** en el proceso *evolutivo*; el segundo es que existe un importante distancia entre condiciones del proceso *evolutivo* -como los cambios en los seres vivos en millones de años para sobrevivir y los que presentan los seres vivos poseen variabilidad gracias a la recombinación genética durante la reproducción-. Ambos planteamientos teóricos no son relacionados dentro del fenómeno de la evolución solo expuestos por separado; y tercero es que la concepción de **tiempo geológico** así como el **ambiente como factor de presión**

hacia los seres vivos se encuentran cada vez más presentes en las construcciones de los alumnos.

Una situación que es importante resaltar antes de dar paso al siguiente apartado, es que el hecho de solo elaborar un mapa conceptual con el grupo pudo haber inducido a que el **modelo científico escolar inclinado hacia el ciclo de vida** no se presentara tan evidentemente en este momento de la estrategia; si bien algunos alumnos planteaban ciertos argumentos hacia el ciclo de vida durante la plenaria que sirvió para elaborar el mapa conceptual, el grupo en conjunto eligió por consenso que palabras usarían y el como relacionarlas al armar el mapa, dejando de lado aquellas ideas que se referían al modelo científico escolar *inclinado hacia el ciclo de vida*, porque no se sostenían al argumentar.

5.5 Modelos Científicos Escolares Alcanzados (MCEAls)

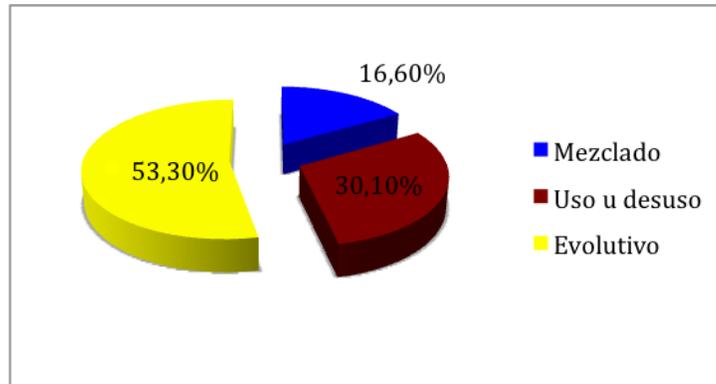
En este apartado nos referiremos a los modelos científicos escolares alcanzados a aquellos que el alumno alcanzo al final de la estrategia y que pudimos inferir a partir de la revisión de los productos finales -esquemas, dibujos de cuento de la bacteria y argumentos-, en los que se evidenciaron tres tendencias que se muestran en la Tabla 35. La primera o A2 hace referencia a una serie de explicaciones sobre la variedad de la vida que tienen una gran relación con el crecimiento y procesos de ciclo de vida, mezclando también algunos términos como adaptación y cambio. La segunda tendencia muestra explicaciones relacionadas con procesos evolutivos pero desde la teoría del uso y el desuso, aunque se presenta una gran cantidad de palabras pertenecientes a un modelo explicativo de evolución que en el caso de la primera tendencia. La última tendencia implica explicaciones más cercanas al MCEA por medio del uso de términos como especie, sobrevivir, adaptación, entre otros.

Tabla 35. Argumentos, esquemas y dibujos en grupos de alumnos en los productos finales de la estrategia.

Grupos	Esquemas	Dibujos de cuento de la bacteria	Ejemplos que explican la evolución biológica
A2			<p>"Primero es una oruga, se hizo capullo y de ese salió una mariposa"</p> <p>"Si una mariposa es verde y esta en la selva negra con otra morada la verde se va adaptar más"</p>
B2			<p>"El topo hace muchísimos años sí tenía ojos pero ya que paso tanto tiempo en cuevas sus ojos se fueron achicando ya que no los utilizaba"</p> <p>"al topo se le hicieron los chicos los ojos y eso fue porque estaba acostumbrado a no utilizar mucho la vista y eso causo el cambio (la evolución)"</p> <p>"Que la suricata tiene los ojos más grandes porque esta más tiempo en la superficie"</p>
C2			<p>"El topo hace muchos años tenía sus ojos grandes y como vivía bajo la tierra se extinguió, solo quedo el de ojos chicos"</p> <p>"Murieron las jirafas de cuello corto porque no alcanzaban la comida en los árboles y sobrevivieron las de cuello largo"</p> <p>"los topos con ojos grandes desaparecieron porque no eran aptos en su medio"</p> <p>"La adaptación es la cualidad con la que naces y te ayuda en el medio en el que vives"</p>

De las tendencias anteriores la primera representa a 6/36 alumnos que muestran en su argumentación e instrumentos una *inclinación hacia el ciclo de vida* pero mezclando elementos, relaciones y condiciones que aluden a *rasgos evolutivos* como adaptación, prolongado tiempo, etc., la segunda tendencia representa a 11/36 alumnos que si bien se remiten a *rasgos evolutivos* lo hacen desde la ‘ley del uso y desuso’ y por último 19/36 alumnos manifiestan *rasgos evolutivos* cercanos al modelo científico aceptado. La figura 34 ofrece una representación gráfica del porcentaje de alumnado que se ubica en cada uno de los modelos científicos escolares alcanzados al final de la estrategia.

Figura 34. Gráfica de porcentaje de alumnado que se posiciona en cada MCEAI.



La primera de las tendencias anteriores nos aporta elementos y relaciones que nos permitan inferir un modelo al que llamaremos **modelo científico escolar alcanzado *mezclado*** -ya que contiene aspectos del ciclo de vida y de la evolución biológica en conjunto-, la segunda tendencia nos permitió inferir un modelo al que nos referiremos como **modelo científico escolar alcanzado de evolución *de uso y desuso*** y la tercera tendencia nos ayudara a inferir un modelo al que nombraremos **modelo científico escolar alcanzado *evolutivo***. A continuación se exponen las cualidades de cada uno de los modelos científicos escolares evidenciados al final de la estrategia.

5.5.2 Modelo científico escolar final (MCEAI) `de uso y desuso`

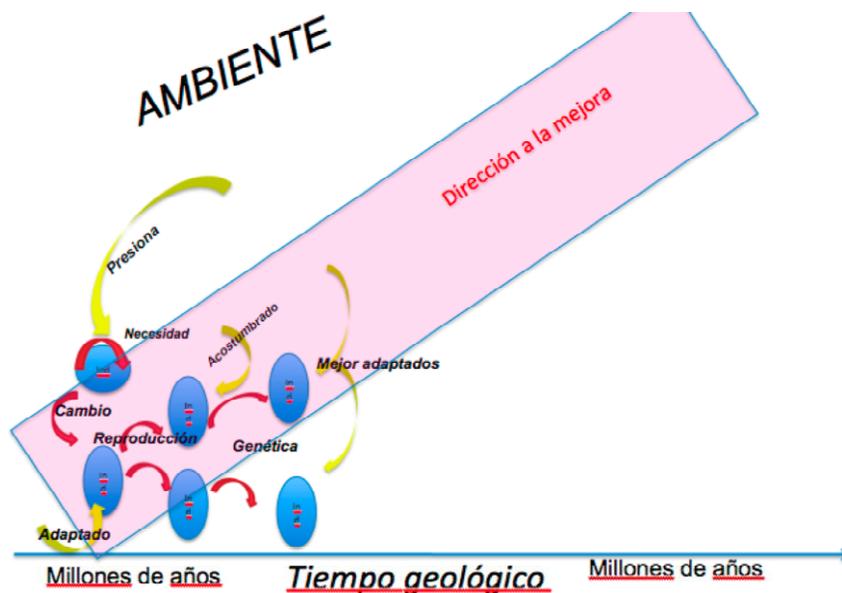
A partir de los hallazgos en los productos del alumnado se infieren para el modelo científico escolar alcanzado *de uso y desuso* los elementos, relaciones y condiciones enlistados en la Tabla 37, en ella encontramos dos elementos constitutivos -ser vivo y ambiente-, cinco relaciones -cambio, adaptación/acostumbrarse, necesidad, genética y reproducción-, y dos condiciones -tiempo geológico y mejora-.

Tabla 37. Elementos, relaciones y condiciones del MCEAI *de uso y desuso*.

<i>Modelo científico escolar alcanzado de uso y desuso</i>		
<i>Elementos</i>	<i>Relaciones</i>	<i>Condiciones</i>
Ser vivo Ambiente	Cambio Adaptación (acostumbrarse) Necesidad Genética Reproducción	Tiempo geológico (millones de años) Mejora

Existen condiciones propias de este modelo: el concepto de adaptación es visto como acostumbrarse, se toma en cuenta la necesidad de los individuos como detonante de los cambios (el topo no necesito los ojos, en consecuencia perdió la vista) y se asocian la genética con la reproducción pero no de manera muy clara. La figura 36 representa el MCEAI *de uso y desuso*.

Figura 36. Modelo científico escolar alcanzado *de uso y desuso*.



5.5.3 Modelo científico escolar final (MCEAI) `evolutivo`

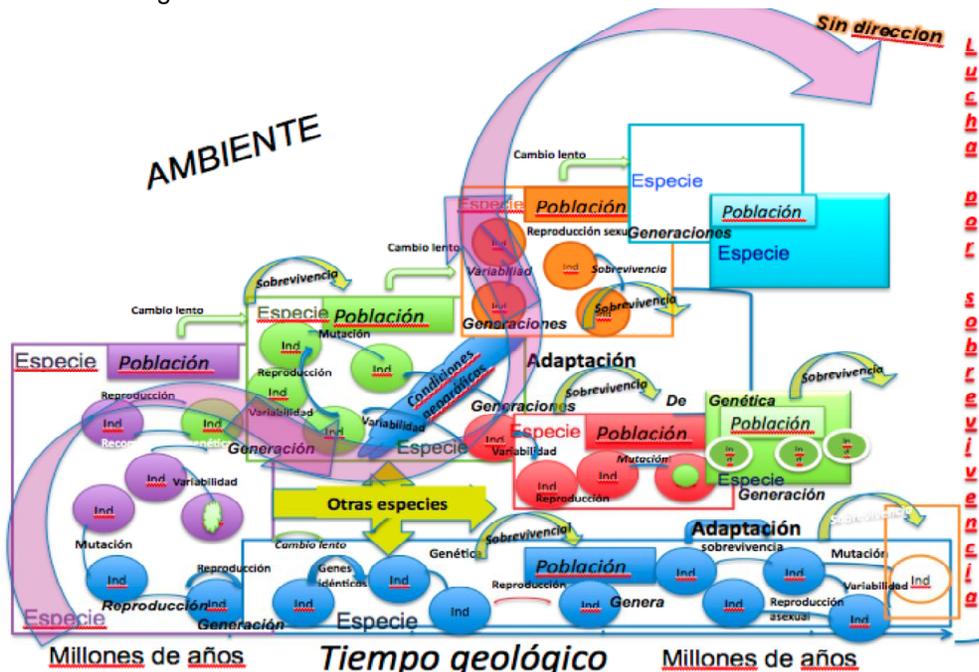
La Tabla 38 muestra los elementos, relaciones y condiciones del MCEAI *evolutivo* inferidos a partir de los hallazgos en los productos finales de los alumnos, donde podemos observar que los elementos del modelo central son cuatro -ser vivo, especie, ambiente y poblaciones-, mientras que las relaciones son siete -cambios lentos, variabilidad, sobrevivencia, recombinación genética, reproducción, generaciones, adaptación y mutación- y la condición una -tiempo geológico-.

Tabla 38. Elementos, relaciones y condiciones del MCEAI *evolutivo*.

Modelo científico escolar alcanzado evolutivo		
Elementos	Relaciones	Condiciones
Ser vivo Especie Ambiente Poblaciones	Cambio lentos Adaptación Variabilidad Sobrevivencia Recombinación genética Mutación Reproducción Generaciones	Tiempo geológico (millones de años)

Las cualidades particulares de este modelo son: que la adaptación es vista como contar con una cualidad (con la que naces) para sobrevivir al medio, los cambios son lentos y que no se explicita una dirección definida de la evolución biológica. La figura 37 representa el modelo científico escolar *evolutivo*.

Figura 37. Modelo científico escolar alcanzado *evolutivo*.



5.6 Comparación entre el MCEA y los modelos científicos escolares alcanzados (MCEAIs)

El momento de comparación entre los modelos científicos escolares alcanzados construidos en la estrategia y el modelo al que se pretendía arribar es medular ya aportar elementos para conocer: por un lado la eficacia de la estrategia y por otro que ocurre en la dinámica grupal cuando se ponen en practica estrategia de la naturaleza teórica de la modelización, por ello durante este apartado se comparan las distancias entre los modelos científicos escolares alcanzados y el modelo científico escolar de arribo, así como las redes semánticas de inicio y final con la intención de evidenciar posibles cambios en el significado semántico del modelo teórico de evolución.

Tabla 39. Elementos y relaciones del MCEA y los MCes al final de la estrategia.

MODELOS	ELEMENTO (S)	RELACIONES	CONDICIONES
MCEA	Poblaciones Ambiente Especie Ser vivo (individuo) Ancestro común	Azar Biodiversidad Variación Presión Cambio Mutación Recombinación genetica Reproducción (sexual.asexual) Descendencia Adaptación Selección sexual Selección natural Lucha por la sobrevivencia	Tiempo geológico Recursos limitados
MCEAI E	Ser vivo Especie Ambiente Poblaciones	Cambio lentos Adaptación Variabilidad Sobrevivencia Recombinación genética Mutación Reproducción Generaciones	Tiempo geológico (millones de años)
MCEAI Du	Ser vivo Ambiente	Cambio Adaptación (acostumbrarse) Necesidad Genética Reproducción	Tiempo geológico (millones de años) Mejora
MCEAI mz	Ser vivo	Cambio (físico- individuo) Reproducción Genética Crecimiento	Tiempo largo-lento Mejora

En la Tabla 39 encontramos los elementos, relaciones y condiciones de los modelos que se compararan en este apartado. El orden en que se presentan se relaciona con el porcentaje de alumnado que se posicionó en cada modelo de mayor a menor, aunque primero se expone el MCEA. Así encontramos al modelo científico escolar *evolutivo* (53.3%) , después el modelo científico escolar *de uso y desuso* (30.1%) y por último el modelo científico escolar *mezclado* (16.6%).

Una primera mirada general a la Tabla anterior nos permite observar que existen tanto diferencias como similitudes entre los cuatro modelos, aquellas hacen que algunos de ellos sean más cercanos entre sí que con otros modelos. Para conocer esas distancias es que a continuación expondremos las semejanzas y las diferencias evidenciadas.

Abordaremos primero las similitudes entre los cuatro modelos: la primera y más obvia es que los cuatro son representaciones que los alumnos han elaborado para explicarse el fenómeno de la variación de los seres vivos en lapsos prolongados de tiempo, la segunda es que todos contienen **`ser vivo`** como elemento constitutivo así como las relaciones **`cambio`**, **`reproducción`** y **`genética`**. Del mismo modo que la condición **`tiempo geológico`**, aunque no es vista desde la misma perspectiva desde los cuatro modelos, para tres modelos -MCEA, MCEAIDu y MCEAIE- es geológico, mientras para un modelo -MCEAlmz- sólo es prolongado.

En algunas relaciones comunes entre los cuatro modelos, a veces se presentan diferencias, por ejemplo: en el caso de las relaciones **`reproducción`** y **`genética`** -por un lado- muestran significado común en el MCEA y el MCEAI *evolutivo* como necesarias para el proceso *evolutivo* así como responsables parciales de la variabilidad de los seres vivos, mientras que -por otro lado- los MCEAIS *de uso y desuso* y *mezclado* no exponen claramente la implicación de estas relaciones en el proceso *evolutivo*.

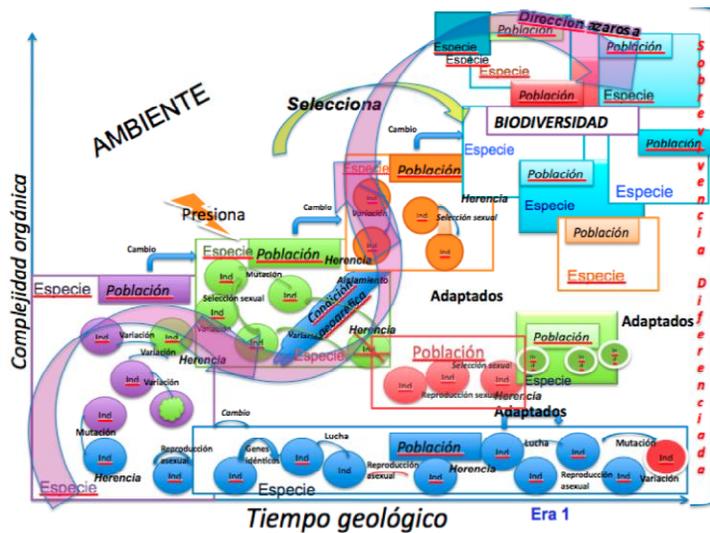
En el caso de la relación **`cambio`** también se evidencian matices que deben plantearse, ya que por un lado tanto para el MCEA como para el MCEAI *evolutivo* es

considerado como una transformación solo visible en las poblaciones/generaciones, mientras que para los MCEAls *de uso y desuso* y *mezclado* es considerado como un cambio físico que ocurre en los individuos. La tercera y última similitud importante es que los modelos -excepto el MCEAl *de uso y desuso*- plantean que la evolución biológica es un proceso que sigue en curso de manera permanente.

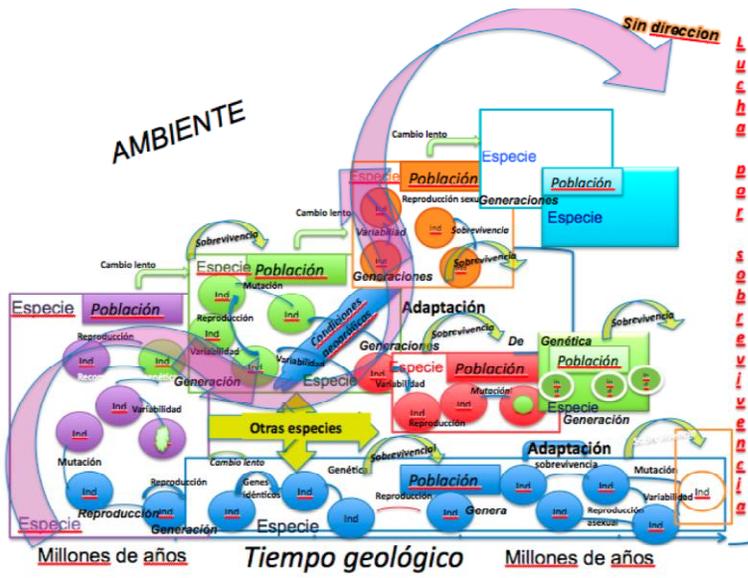
La Tabla 39 sólo permite evidenciar las similitudes entre los cuatro modelos anteriormente expuesto, por ello en la Figura 38 se encuentran las representaciones de los distintos modelos con la finalidad de evidenciar otras posibles semejanzas y diferencias.

Figura 38. Representación de MCEA y MCEAls *Evolutivo*, *De uso y desuso* y *Mezclado*.

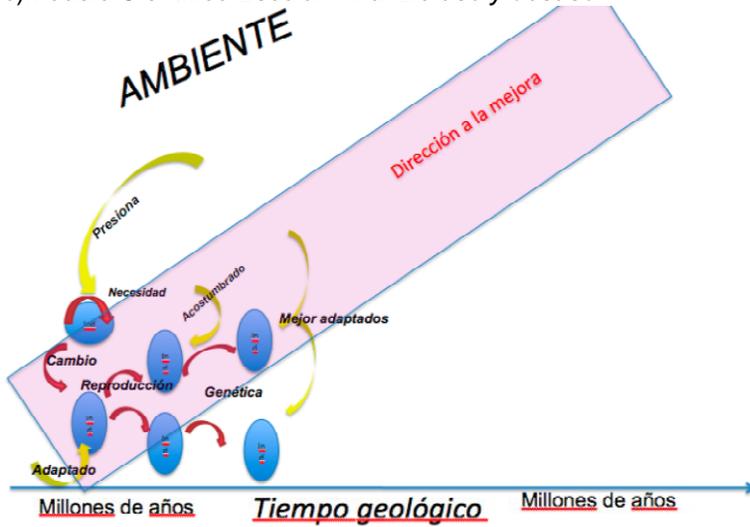
a) Modelo Científico Escolar de Arribo



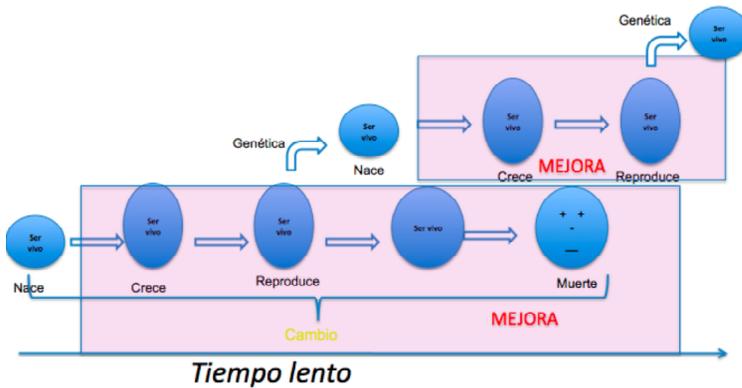
b) Modelo Científico Escolar Alcanzado *Evolutivo*



c) Modelo Científico Escolar Final *De uso y desuso*



d) Modelo Científico Escolar Final *Mezclado*



Al observar detenidamente los modelos de la figura anterior es evidente la similitud que presentan el MCEA y el MCEAI *evolutivo*, así como la diferencia entre ambos y los MCEAI *de uso y desuso*, diferencia que se magnifica al mirar al MCEAI *mezclado*; estas diferencias y semejanzas son visibles también en la Tabla 40 que propone aspectos generales dentro de un modelo científico sobre evolución biológica y los argumenta desde los cuatro modelos que se están comparando.

Tabla 40. Cuadro comparativo de aspectos generales de los modelos científicos MCEA. MCEAIs *evolutivo, de uso y desuso y mezclado*.

Modelos	Elemento (s) diferentes	Relaciones diferentes	Mecanismo evolutivo	Dirección del proceso	Centrado en...	Fuerza que impulsa	En acción
MCEA	Ambiente Poblaciones Especie Recursos limitados Ancestro común	Adaptación Biodiversidad Presión Descendencia	Selección natural Selección sexual Lucha por la sobrevivencia	Azar	Poblaciones	Variación Mutación	Sigue
MCEAI Evolutivo	Ambiente Poblaciones Especie	Adaptación Generaciones	Sobrevivencia	Sin dirección	Poblaciones	Variabilidad Mutación	Sigue
MCEAI De uso y desuso	Ambiente	Mejora Adaptación (acostumbrarse)	Uso y desuso	Mejora	Ser vivo	Necesidad	Finalizo
MCEAI Mezclado	-----	Mejora Crecimiento	Ninguno	Mejora	Ser vivo	Desarrollo	Sigue

Basando el análisis en las Tablas 39 y 40 así como la Figura 38, es evidente la similitud -antes apuntada- entre el MCEA y MCEAI *evolutivo* -a la que nos referiremos más adelante-. En este momento expondremos las diferencias más evidentes entre los

cuatro modelos en comparación. Una de esas diferencias es que tanto el número de elementos como el de relaciones en los modelos se va reduciendo del MCEA al MCEAI *mezclado*; siendo este último el más simple teóricamente y el primero el más complejo. Otra de las diferencias es que el mecanismo *evolutivo* de cada modelo es distinto - excepto entre el MCEA y MCEAI *evolutivo*-, y va desde la selección natural, lucha por la sobrevivencia, uso y desuso hasta ninguno en el caso del MCEAI *mezclado*.

Las otras diferencias importantes entre los cuatro modelos es en cuanto a la dirección del proceso *evolutivo*, en quien está centrada la evolución, la fuerza que la impulsa y permanencia de la acción; en el caso de los dos primeros aspectos se forman dos grupos: por un lado el MCEA y el MCEAI *evolutivo* plantean que la dirección del proceso *evolutivo* como azarosa y que los cambios son evidentes en poblaciones, mientras que por otro lado los MCI *de uso y desuso y mezclado* aseguran que el proceso *evolutivo* lleva hacia la mejora y que los cambios ocurren en el individuo. Respecto a la fuerza que impulsa la evolución el MCEA y el MCEAI *evolutivo* proponen a la variabilidad por recombinación genética y mutación, mientras que el MCEAI *de uso y desuso* plantea a la necesidad como explicación del fenómeno y el MCEAI *mezclado* recurre al desarrollo.

En las comparaciones anteriores se evidencia que el modelo científico escolar alcanzado más cercano al de arriba es el *evolutivo*, las semejanzas que reducen la distancia cualitativa entre estos dos se puntualizan a continuación:

- Además de que ambos modelos consideran el elemento ser vivo en su constitución también comparten elementos como: población, especie y ambiente. Los únicos elementos que distancian ambos modelos son ancestro en común y recursos ilimitados que posee el MCEA,
- Del mismo modo que el MCEA y el MCEAI *evolutivo* comparten relaciones como cambio, reproducción y recombinación genética, también comunican las relaciones

adaptación y descendencia/generación. En este caso las relaciones que generan distancia son biodiversidad, presión y complejidad orgánica,

- Del mismo modo el MCEA y el MCEAI *evolutivo* comparten la condición de tiempo geológico.
- También los dos modelos comparte **el mecanismo evolutivo de sobrevivencia** del más apto, lo que los distancia es que en el MCEAI *evolutivo* no se menciona teexplicitamente la selección natural y sexual,
- En ambos modelos la dirección del proceso *evolutivo* es el **azar** o no existe una dirección,
- Además de que tanto en el MCEA como en el MCEAI *evolutivo* los cambios *evolutivos* son visibles en **las poblaciones**,
- Así como que para ambos modelos, la fuerza que impulsa a la evolución biológica es la **variabilidad** ocasionada por **la mutación y recombinación genética** y
- Un último aspecto que comparten ambos modelos es que la evolución biológica es un proceso que **sigue en acción** permanente.

Los aspectos anteriores, además de señalar las similitudes entre el MCEA y el modelo científico escolar final más cercano -el *evolutivo*-, también aluden a aquellos aspectos que los diferencian; aspectos por los que no podemos afirmar que alguno de los modelos científicos elaborados por el alumnado durante la estrategia didáctica sea idéntico al MCEA. No obstante lo expuesto anteriormente deja claro que el MCEAI *evolutivo* es bastante cercano.

5.7 Panorama general de la evolución biológica: red semántica final

El instrumento de red semántica que nos permite conocer de manera global el significado semántico que los alumnos tienen -en este caso- sobre evolución biológica fue utilizada además de al inicio de la estrategia -como ha sido expuesto en apartados anteriores (5.1)- al final de la misma. En este apartado expondremos los hallazgos de esa última red semántica y la compararemos con la primera red semántica, ambas elaboradas por el grupo de desarrollo total de la estrategia

En la Tabla 41 se observan los núcleos semánticos y pesos semánticos de las redes realizadas durante las fases de inicio y cierre de la estrategia didáctica en el grupo de 1º “C” de la sec. 228, en ella son visibles diferencias y similitudes que serán señaladas a continuación.

Tabla 41. Núcleos semánticos de redes inicial y final del grupo de aplicación.

	Red semántica inicial			Red semántica final		
	Conjunto SAM*	Peso semántico	Distancia semántica	Conjunto SAM	Peso semántico	Distancia semántica
NÚCLEO SEMÁNTICO	CRECIMIENTO	220	100%	REPRODUCCIÓN	140	100%
	CAMBIO	153	69.5%	CAMBIO	126	90%
	Ser humano	120	54.5%	Ser vivo	96	68.5%
	DESARROLLO	77	35%	Adaptación	77	55%
	REPRODUCCIÓN	60	27.2%	Genética	66	47%
	Animales	40	18.1%	CRECIMIENTO	50	35.7%
	Diferencia	32	14.5%	Tiempo	28	20%
	Mejora	21	9.5%	DESARROLLO	21	15%
	Crear	12	5.4%	Ambiente	8	5.7%
	Tierra	5	2.2%	Variabilidad	4	2.8%

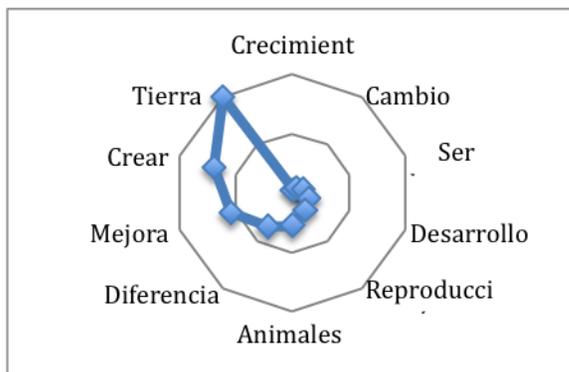
Las similitudes que presentan los núcleos semánticos de la Tabla anterior son: ambas redes presentan las definidoras `cambio`, `reproducción`, `crecimiento` y `desarrollo`; aunque solo la definitoria cambio se mantiene en la misma posición del núcleo semántico en ambas redes. Aunque las anteriores son definidoras que se mantienen en ambas redes semánticas cambiaron sus pesos semánticos y se alejaron o acercaron de una red a otra debido al estímulo evolución. Así las definidoras `crecimiento` y

‘desarrollo’ se alejaron del estímulo ‘evolución’ ya que su peso semántico se redujo considerablemente de un momento de la estrategia a otro. Las definidoras ‘cambio’ y ‘reproducción’ se acercaron al estímulo evolución al aumentar su peso semántico. El hecho de acercarse o alejarse al estímulo evolución tiene que ver con su capacidad de poder ser definida, así las definidoras que sean más cercanas definen mejor al estímulo en este grupo social que las más alejadas.

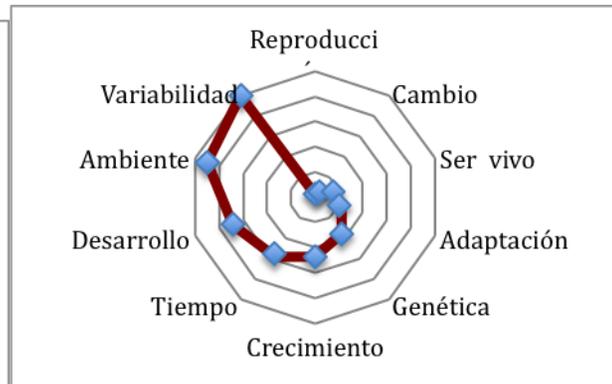
En cuanto a las diferencias que se muestran en la Tabla anterior entre las redes inicial y final encontramos que algunas definidoras se introdujeron en la red final, las cuales son: **adaptación, genética, tiempo, ambiente y variabilidad** -todas ellas son definidoras más cercanas a explicar el estímulo evolución desde el modelo científico más aceptado en nuestros días-. No están en la red final definidoras como: ‘ser humano’, ‘mejora’, ‘animales’, ‘diferentes’ y ‘Tierra’, lo que implica que dejaron de ser mencionadas por el grupo social ante el estímulo evolución o que redujeron su frecuencia tanto que no forman parte del núcleo semántico de la red final.

En la Figura 39 se representan las redes semánticas inicial y final, donde podemos observar diferencias como que mientras en la red inicial las definidoras que definen más el estímulo evolución son: crecimiento, cambio y ser humano; en el caso de la red final se modifican a reproducción, cambio y ser vivo, lo que implica que solo se mantiene la definitoria cambio como una de las tres más cercanas al estímulo de una red a otra.

Figura 39. Red semántica inicial



Red semántica final



A manera de resumen, es este apartado enunciamos las diferencias y similitudes que se presentan entre la red semántica inicial y la red semántica final, donde destaca como semejanza que la definitoria `cambio´ se mantuviera en el mismo puesto dentro del núcleo semántico de ambas redes; ya que aunque algunas otras definidoras se mantuvieron sus pesos semánticos variaron drásticamente. Entre las diferencias entre una red y otra resalta que en la red final se presentaron definidoras más cercanas al modelo científico experto aceptado en nuestros días sobre evolución como son: `adaptación´, `genética´, `tiempo´, `ambiente´ y `variabilidad´.

A partir de lo anterior concluimos que se presentan diferencias considerables cualitativa y cuantitativamente entre la red inicial y final de los alumnos del grupo debido presumiblemente a la de aplicación de la estrategia didáctica.

5.8 Análisis de la estrategia didáctica

La estrategia didáctica aplicada en un grupo de primero de secundaria será analizada a partir de los criterios de diseño y los de evaluación propuestos en el capítulo anterior. A continuación expondremos como se comportó la estrategia desde cada uno de ellos abordando en principio los criterios de diseño, después los propósitos generales de la estrategia didáctica **`construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: a partir de una estrategia didáctica sustentada en la modelización´** y por último los criterios de evaluación de la misma.

5.8.1 Desde los criterios de diseño de la estrategia

Reseñando los criterios de diseño de la estrategia didáctica para realizar un análisis partiendo de ellos, esbozaremos que son de dos tipos: criterios teóricos y criterios prácticos, cada uno de los cuales se abordaran en las siguientes líneas.

Criterios teóricos de diseño en la estrategia didáctica `construcción de modelos científicos escolares sobre la variedad de la vida: a partir de una estrategia didáctica sustentada en la modelización´.

Los criterios teóricos de diseño de la estrategia didáctica son seis y surgen a partir de la comparación entre el MCEA y el MC expuestos -en el capítulo tres de la presente tesis-, cada uno de estos criterios atiende un aspecto particular de la estrategia por ello es esencial el análisis de la misma desde la mirada de los criterios, por ello a continuación recuperamos textualmente cada uno de estos, ya que su presencia o ausencia durante el desarrollo de la estrategia didáctica nos brinda parámetros para analizarla.

Criterio 1: Resaltar la visión del tiempo geológico.

Sobre el primer criterio teórico podemos argumentar que se encuentra presente en el desarrollo de la estrategia, lo demuestran el hecho de que los tres modelos científicos escolares propuestos por el alumnado al final de la estrategia didáctica, consideraban al tiempo como `lento` y `geológico`, lo que implica que los productos de los alumnos al final de la estrategia resaltan la visión geológica del tiempo, asunto del que trata este criterio teórico.

Criterio 2: Poner énfasis en la visión poblacional del proceso evolutivo.

Respecto a este criterio no se presentaron resultados tan positivos como en el caso del criterio teórico 1, ya que al final de la estrategia solo un porcentaje del 53.3% de los alumnos que aportaron argumentos, esquemas y dibujos que los posicionaron en el modelo científico escolar alcanzado `evolutivo`, manifestaron a la evolución como un proceso que ocurre y afecta a las poblaciones, es decir, énfaticaron la visión poblacional del proceso *evolutivo*. Mientras el resto de los alumnos que se posicionaron en alguno de los otros dos modelos científicos escolares alcanzados -el `de uso y desuso` y el `mezclado`-, mantienen la afirmación de que los cambios que subyacen en la evolución se presentan en los individuos. Lo anterior nos permite plantear que el criterio teórico dos estuvo presente en la estrategia aunque no tuvo el mismo impacto en todos los alumnos.

Criterio 3: Incidir en la idea de dirección azarosa y presionada por el ambiente del proceso evolutivo.

En referencia a este criterio teórico consideramos que la estrategia didáctica lo presenta, aunque los resultados no sean iguales en todos los alumnos al final de la misma, ya que solo poco más de la mitad del grupo (53.3%) construyeron un modelo científico escolar alcanzado en el que se considera que la evolución no tiene dirección; mientras el resto del grupo afirma que el dirección del proceso *evolutivo* es hacia la mejora. Lo que puede sugerir una situación similar a la del criterio dos, está es que el criterio tres esta presente en la estrategia didáctica pero no impacta del mismo modo a todo el alumnado.

Estos tres primeros criterios teóricos se encuentran estrechamente relacionados con los propósitos de la estrategia didáctica que serán retomados más adelante.

Criterio 4: La estrategia didáctica debe estar anclada en la posición teórica constructivista desde el enfoque de la modelización: pensamiento, acción y comunicación en torno al fenómeno de la variación de la vida en lapsos prolongados de tiempo.

La estrategia didáctica en desarrollo mostró anclaje en el posición teórica constructivista de la modelización, ya que todas las actividades científicas propuestas ponían en juego la interacción del pensamiento, acción y comunicación; ya sea a manera de trabajo individual o colectivo, así como verbal, escrito y gráfico -evidenciado en los productos elaborados por los alumnos a lo largo de la secuencia-. Del mismo modo todas las actividades de la estrategia giraron en torno del fenómeno de la variación de la vida en lapsos prolongados de tiempo, por tanto el criterio cuatro esta presente.

Criterio 5: Identificar el modelo cognitivo evidenciado en los alumnos al inicio de la estrategia.

Al respecto del criterio teórico cinco podemos afirmar que las actividades de exploración de concepciones alternativas contenidas en la fase de inicio de la

estrategia posibilitaron la identificación de los tres modelos cognitivos iniciales en el alumnado con el que se trabajó la estrategia didáctica, por ello consideramos que la misma presentó el criterio completamente.

Criterio 6: Utilizar elementos de la historia de las ciencias.

El criterio seis de la estrategia didáctica se encuentra presente en distintas actividades de la misma por ejemplo: la nota periodística del topo hace referencia a un pasaje histórico relacionado con Lamarck o la carta de Darwin que se refiere a su viaje por Sudamérica. Lo anterior nos permite afirmar que la estrategia presentó el criterio de utilizar elementos de la historia de las ciencias.

Los seis criterios teóricos anteriores y su presencia o ausencia en la estrategia son uno de los elementos que nos permiten analizar la coherencia interna de la estrategia didáctica en grupo y así validarla, a continuación exponemos otro de los elementos: los criterios de diseño del tipo práctico.

Criterios prácticos en la estrategia didáctica `construcción de modelos científicos escolares sobre la variedad de seres vivos...´.

Son cuatro los criterios prácticos de diseño desde los que se analiza a la estrategia didáctica a continuación:

Criterio 1: Tomar como referencia el tema 1.2. de Ciencias 1 (con énfasis en biología) como lo estipula el programa de educación secundaria publicado por la SEP en el 2011.

El tema 1.2 de Ciencias 1 fue el punto de partida para el desarrollo de la estrategia didáctica, ya que es el destinado en el programa de ciencias 1 para tratar el modelo teórico de la evolución biológica; durante la estrategia se consideraron las particularidades que ofrece este modelo teórico propuesto por la SEP al inferir a partir de ellas el MCCu, que fue parte fundamental en la elaboración del MCEA que guió a su vez el diseño de la estrategia didáctica una `construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: a partir de una estrategia didáctica

sustentada en la modelización, de ahí que consideramos que el criterio práctico 1 se presenta en la estrategia de manera transversal.

Criterio 2: Desarrollar la estrategia didáctica en condiciones de aula, evitando la utilización de materiales poco accesibles y/o lejanos a la realidad del medio escolar en el que se trabaja en las escuelas secundarias.

Sobre el criterio práctico dos podemos argumentar dos situaciones: la primera es que la estrategia didáctica efectivamente se realizó en condiciones normales de aula - inclusive la aplicación se desarrolló en medio de situaciones tan cotidianas de la vida escolar como ensayos para festivales, salidas temprano y juntas de consejo-, sin verse afectada de manera importante, aunque algunas actividades se modificaron un poco por situaciones contextuales -por ejemplo la actividad de los juegos sobre selección natural se realizó en el salón porque estaba lloviendo, lo que evito la salida al patio-.

La segunda de las situaciones que sugiere el criterio dos es el evitar el uso de materiales poco accesibles, sobre lo que se tiene que apuntar que existe una actividad en la estrategia que requiere material electrónico -el juego del sitio Web de Discovery-, al que no podemos estar seguros de que todas las escuelas secundarias del país -o de cualquier contexto- tengan acceso. Lo anterior implica que el criterio dos se presenta parcialmente en la estrategia.

Criterio 3: Aplicar la estrategia en un promedio de 7 sesiones en consideración de los tiempos reales en los que se desarrolla un tema en el aula.

La estrategia didáctica se aplicó en ocho sesiones en total, por lo que el desarrollo se ajustó al criterio práctico número tres.

Criterio 4: Diseñar la estrategia en virtud de una estructura que va de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto.

La estructura de la estrategia didáctica en sí misma es un reflejo de este criterio práctico de diseño, lo que se reflejó durante el desarrollo también, cuando las actividades partieron de situaciones menos complejas y más concretas -hacer una

línea del tiempo sobre los seres vivos favoritos del grupo, por ejemplo- hacia actividades más complejas y abstractas -explicar el proceso *evolutivo* de una bacteria hospitalaria, por ejemplo-; por lo que consideramos que internamente la estrategia se ajustó al criterio cuatro.

5.8.2 A partir de los propósitos de la estrategia

A partir de la explicitación de los criterios teóricos y prácticos de la estrategia se formularon una serie de propósitos que expondremos en las siguientes líneas - resaltados en negrillas- argumentando que tanta cercanía hay con su cumplimiento:

1. **Promover una visión poblacional del proceso *evolutivo* en lugar de en individuos**, este propósito se cumplió parcialmente ya que solo el 53.3% del alumnado al final de la estrategia dio cuenta de un modelo científico escolar que implicaba que la evolución solo era visible en las poblaciones y afectaba su dinámica. El resto del grupo manifestó modelos científicos escolares que planteaban a la evolución como un proceso de cambio individual.
2. **Implicar una concepción del tiempo geológico en el proceso *evolutivo***, este objetivo se cumplió en la mayoría de los alumnos ya que en dos de los tres modelos científicos escolares finales (el *evolutivo* y el *de uso y desuso*) el tiempo se concibe en términos geológicos, estos modelos representan al 83.4% del alumnado total. No obstante, aunque el otro modelo científico escolar final -el *mezclado*- no anoto al tiempo geológico tal cual, si manifestó que el tiempo para que ocurra la evolución debe ser lento.
3. **Introducir los elementos azar y presión del ambiente en el trascurso del proceso de la evolución**, es un propósito que se cumplió parcialmente ya que solo 53.3% de los alumnos al final de la estrategia dieron cuenta de un modelo científico escolar que consideraba que la evolución biológica no tiene dirección determinada, mientras el resto del grupo mantuvo la concepción de que la evolución se dirige a la mejora.

Un alto en el análisis

Los argumentos anteriores nos permiten realizar algunas puntualizaciones sobre el análisis de la estrategia hasta este momento, mostrando de manera general tres asuntos: primero, que existen ciertos logros en el aprendizaje que permiten cercanía entre el modelo científico escolar alcanzado de 19/36 alumnos y el MCEA; segundo, se muestran situaciones en las que hace falta detenerse y tal vez replantear algunas de las actividades propuestas (la actividad del juego Web, por ejemplo); y por último, muestra que tal vez el pretender que todos los alumnos arriben a un modelo como el MCEA es muy ambicioso considerando la complejidad del modelo teórico de evolución biológica; y que de hecho esta estrategia didáctica se encuentra inmersa en el terreno de la enseñanza más allá que en el del aprendizaje -plano más cómodo para psicólogos cognitivos- donde tendría lugar el hacer un análisis de fondo en cada una de las elaboraciones de los alumnos.

Sobre lo anterior, lo que nos resulta importante puntualizar -después de desarrollar la estrategia- que a pesar de la complejidad del MCE de evolución biológica todos los alumnos mostraron haber complejizado sus modelos cognitivos iniciales, tal vez no todos generando cercanía con el MCEA, pero si hacia la introducción de elementos, relaciones y condiciones nuevas congruentes con el MCEA.

A continuación enunciaremos los criterios de evaluación de la estrategia descritos en el capítulo anterior y que permiten conocer el comportamiento de la estrategia en torno a determinados aspectos.

5.8.3 Desde los criterios de evaluación de la estrategia

Los criterios de evaluación son una serie de elementos que nos permiten conocer el actuar de la estrategia en desarrollo en el aula, del mismo modo que los criterios de diseño se dividen en teóricos y prácticos, a saber:

Criterios teóricos de evaluación de la estrategia

La claridad teórica: sobre este criterio podemos señalar que consideramos que la estrategia didáctica **‘construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: a partir de una estrategia didáctica sustentada en la modelización’** efectivamente muestra claridad y congruencia teórica, ya tiene como punto de partida la construcción de el MCE, MCCu y MCEA además del MC -a partir de una importante revisión teórica-, quienes le brindan los parámetro de diseño que le dan forma y guían su desarrollo, modelos teóricos elaborados de manera similar -inclusive gráficamente- para evidenciar sus particularidades y congruencia interna entre ellos.

Avance en la complejidad teórica de lo simple a lo complejo: sobre esta situación podemos afirmar que la estrategia didáctica favorece el avance en la complejidad en los modelos que elaboran los alumnos, colaborando en el tránsito desde su modelo cognitivo inicial evidenciado hacia un modelo científico escolar más complejos.

Suficiencia: consideramos que la estrategia didáctica propuesta es suficiente en actividades y mantiene una secuencia lógica que permitió la construcción de los modelos científicos escolares finales. Inclusive consideramos que existe la posibilidad de omitir la actividad de la carta de Darwin -en caso sumamente necesario de reducción el número de sesiones-, ya que aunque cumple con el criterio teórico de diseño de *utilizar elementos de la historia de las ciencias*, consideramos que no impacto determinadamente en la construcción del modelo científico escolar final; aunque si apoyo conectando a los alumnos con situaciones emocionales y vivenciales de uno de los científico más reconocidos en la biología, por lo que valoramos la presencia de la actividad en el sentido de que visión de ciencia y científico implica.

Eficacia: la estrategia en conjunto permitió la identificación de los distintos tipos de modelos de los alumnos, desde el modelo cognitivo inicial evidenciado hasta los modelos científicos escolares finales, aunque se debe señalar que en algunas actividades la inferencia de los modelos resulto más sencillas que en otras, además de

que cierta actividad solo permitió inferir un modelo científico escolar intermedio grupal - la actividad del mapa conceptual-.

Criterios prácticos de evaluación de la estrategia

El tiempo: en cuanto al tiempo la estrategia didáctica se ajustó a lo previsto en la planeación, aunque tal vez el tiempo dedicado a la misma pueda ser cuestionable por algunos docentes que podrían considerar que es una secuencia muy larga para tratar uno de los tantos temas que se incluyen en el programa de ciencias 1; aun así anclados en la modelización defendemos el número de sesiones utilizadas en la estrategia didáctica, ya que el posicionar a los alumnos -desde uno de los primeros modelos teóricos del programa de Ciencias 1- en el control de sus aprendizajes pensando, actuando y comunicando es una ventaja que se hará tangible mientras más se avance en el desarrollo del programa, ya que la explicitación y construcción de un modelo científico escolar supone la interacción de varias temáticas/conceptos que el programa plantea de manera separada.

Materiales: La mayor parte de los materiales resultaron pertinentes en el contexto, con excepción del juego de multimedia que no considera contextos rurales y que en la aplicación generó un mayor esfuerzo de planeación que otras actividades en las que no se involucra un salón de medios.

A manera de conclusión

Después de argumentar lo sucedido durante el desarrollo de la estrategia desde cada uno de sus criterios -tanto de diseño como de evaluación- y propósitos generales, podemos afirmar:

- Que la estrategia se muestra como una propuesta viable para lograr la explicitación, construcción y complejización desde los modelos cognitivos iniciales de los alumnos hacia el tránsito hacia modelos científicos escolares alcanzados más cercanos al MCEA.

- No obstante al punto anterior, existen ciertas actividades y materiales que podrían requerir una revisión en cuanto a los elementos sociales y contextual -asegurarnos de que los alumnos conozcan el significado de todas las palabras utilizadas en los materiales por ejemplo- antes de una posible replica, esta revisión es con la finalidad de evitar posibles confusiones y fortalecer la estrategia didáctica propuesta.
- La estrategia cumple de manera parcial -inclinada hacia la mayoría- los propósitos establecidos, por lo que consideramos que es viable y valida, sobretodo tomando en consideración el punto anterior.
- El pretender que los todos los alumnos arriben a un modelos científico escolar alcanzado con gran cercanía al MCEA podría ser demasiado ambicioso, ya desde esa postura no se considera la diversidad de alumnado, la constancia de la asistencia de los mismos en condiciones cotidianas de aula, la complejidad en sí misma del modelo científico experto de evolución biológica y la naturaleza de este tipo de estrategias ancladas en el terreno de la enseñanza.
- Después de la aplicación y análisis de la estrategia nos declaramos en la postura de que es posible la enseñanza del modelo científico de evolución biológica en escolaridad básica -al menos en secundaria, nivel en el que desarrollamos la estrategia-, desde la perspectiva de complejizar paulatinamente los modelos cognitivos iniciales en el alumnado hacia la construcción de un modelo científico escolar cercano al MCEA o hacia la introducción de nuevos elementos y relaciones congruentes con el MCEA que les permita a los alumnos en estadios escolares posteriores la construcción de un modelo científico escolar más cercano al MCEA.
- Y por último, se debe considerar el tiempo empleado en la aplicación de la estrategia como una inversión -de estar posicionados en la modelización-, ya que aunque podría parecer un exceso, consideramos que es el mínimo necesario para que se presenten procesos tan complejos como la identificación y explicitación para el

alumnado de los modelos cognitivos iniciales y su tránsito hacia modelos científicos escolares alcanzados más cercanos o con ideas nuevas pertenecientes al MCEA.

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

Durante el capítulo anterior se explicitaron los datos y análisis originados durante el diseño, desarrollo y aplicación de la estrategia didáctica **‘construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: a partir de una estrategia didáctica fundamentada en la modelización’**. En este último capítulo revisaremos los aspectos nuevos que aportan los datos expuestos, argumentaremos el porque de algunos de los resultados más sobresalientes, de igual forma pondremos de frente a los resultados con las preguntas de investigación, las hipótesis teóricas y los propósitos de investigación establecidos; expondremos las limitaciones que presenta este trabajo, después abordaremos las implicaciones de este trabajo hacia futuras investigaciones y por último algunas consideraciones finales.

6.1 Algunos aportes de la propuesta

Sobre el uso de redes semánticas para identificar concepciones alternativas en una estrategia que gira en torno a la modelización

Una de las aportaciones del presente trabajo al campo de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque teórico de la modelización fue el uso de redes semánticas para triangular elementos que nos permitieran vislumbrar el modelo cognitivo inicial del alumnado. Al respecto podemos mencionar varias aportaciones:

1.-Los resultados que arroja el uso de este instrumento en los distintos momentos de la estrategia son similares a los modelos (MCIs y MCEAls) que se infieren en los mismos momentos, por ejemplo en el caso de la red semántica inicial encontramos que el grupo social de primero “C” utiliza a las definidoras ‘cambio’, ‘crecimiento’ y ‘ser humano’ de manera más frecuente lo que quiere decir que definen mejor a la evolución biológica para este grupo social, del mismo modo al inferir los modelos cognitivos iniciales encontramos con mayor frecuencia el MCI inclinado hacia el ciclo de vida (25/36 alumnos se situaron en este modelo por sus aportaciones) en el grupo primero “C” que entre sus elementos, relaciones y condiciones se encuentra la consideración de que la evolución es un cambio que se da en los seres humanos e involucra el crecimiento; lo

que implica que la red semántica inicial se corresponde en cierta medida con el MCI más frecuente. No obstante a esta correspondencia, es importante puntualizar que la red semántica por sí misma es un instrumento incompleto en la indagación de los modelos cognitivos iniciales -solo nos permite un bosquejo general de los mismos-, por ello es importante que se acompañe de otra serie de instrumentos que permitan evidenciar de manera más completa las concepciones alternativas del alumnado.

La similitud entre las definidoras más frecuentes y los modelos inferidos se debe a que la red semántica justo es un instrumento que permite conocer el significado psicológico que tiene un modelo o representación teórica en un determinado grupo social.

2.- El instrumento de la red semántica ofrece datos cualitativos y cuantitativos respecto a la concepción que los alumnos manifestaron al inicio y al final de la estrategia didáctica sobre el modelo de la evolución biológica, datos que permiten observar que definidoras explican mejor el modelo para el alumnado y cuales se distancian más de él. Lo anterior permite realizar una comparación entre las redes inicial y final, evidenciando el cambio de definidoras y de peso semántico de las mismas de un momento a otro en la estrategia didáctica, lo que sugiere modificaciones en el significado semántico que los alumnos de manera grupal le dan al proceso de evolución biológica; modificaciones que van desde la introducción de nuevas definidoras hasta el posicionamiento de algunas que se mantuvieron en las dos redes - la definidora cambio, por ejemplo-; lo que podría implicar que la estrategia didáctica tuvo algún efecto en el significado que los alumnos aluden al modelo teórico de la evolución biológica.

3.-Constatamos que algunas de las palabras que aparecían como definidoras en las redes semánticas representaban a elementos, relaciones y condiciones constitutivos de los modelos cognitivos iniciales y modelos científicos escolares alcanzados, lo que sugiere que también la red semántica apoya en la identificación de elementos, relaciones y condiciones que conforman los modelos, lo que se entiende al recordar la finalidad teórica de las redes semánticas.

No obstante, en lo que consideramos que se queda corta una red semántica -en cuanto a este trabajo, ya que en psicología social son un instrumento de efectividad indiscutible-, es que no permite adentrarse a las particularidades de los modelos cognitivos de los alumnos sobre el fenómeno en cuestión, lo que es debido a la naturaleza del instrumento que es: la identificación grupal de un significado semántico.

Además consideramos que hace falta más indagación en cuanto a la efectividad de una red semántica para bosquejar de manera general los modelos cognitivos del alumnado, es decir, más trabajos que comprueben la similitud entre los resultados de las redes semánticas y los modelos del alumnado con la final de validar su uso en una estrategia didáctica basada en la modelización, esto se piensa al considerar que si bien la red semántica inicial y final aportaban datos similares a los de los modelos más frecuentes en ambos momentos de la estrategia, no eran los únicos modelos presentes en el alumnado.

El Modelo Cognitivo Inicial de la mayoría de los alumnos

Durante el análisis de datos encontramos que el MCI que se infiere de la mayor parte del alumnado con quien se trabajó la estrategia es el inclinado hacia el ciclo de vida (25/36 alumnos), esto resulta una aportación importante al considerar que en ninguna publicación de las revisadas -hasta el día de cierre de la presente tesis-, se encuentra reportado que para explicar el fenómeno de la variedad de la vida en lapsos prolongados de tiempo se manifieste un modelo cognitivo similar al ciclo de vida, donde el cambio se piensa en el individuo mediante el aumento o disminución de facultades según se desarrolle.

Lo anterior llama la atención también porque esta idea de “crecimiento-cambio es igual a evolución” es muy potente e incluso se mantiene a lo largo del desarrollo de la estrategia, inclusive hacia la elaboración de los MCEAls se presenta en uno de ellos -el MCEAl mezclado que incluye elementos como el crecimiento pero mezclando términos como lapsos prolongados de tiempo y un sentido de mejora-. Lo anterior se podría

explicar debido a la existencia de los nombrados obstáculos en la enseñanza del modelo teórico de la evolución biológica (Jiménez y Fernández, 1989; Gené, 1991; Jiménez, 1991; Jiménez, 2009), entre los que destacan el uso que dan los medios de comunicación a términos como evolución y las influencias culturales derivadas del lenguaje, ideas aparentemente coherentes y útiles para explicar de manera cotidiana procesos tan complejos como el evolutivo (Gené, 1991; Grau y De Manuel, 2002; Jiménez, 2002, 2009; García *et al*, 2011), en donde se bombardea a los alumnos con ideas como que tienen que `evolucionar´ para ser mejores hijos, alumnos o personas, por ejemplo.

Además de existir estos obstáculos son resistentes a la modificación, debido a que los alumnos se encuentran constantemente rodeados en su entorno de estas ideas tan distantes a las científicas que simplifican el modelo teórico de la evolución (Gené, 1991; Grau y De Manuel, 2002), posiblemente porque no lo comprenden. Al respecto Grau y De Manuel (2002) argumentaban que la influencia cultural del lenguaje y los medios de comunicación masiva atribuyen significados contradictorios y opuestos a los términos relacionados con la evolución biológica en investigaciones previas-, constantemente enfatizan la idea de que el crecer te permite evolucionar y te mejora o de que como adolescente eres menos evolucionado que un adulto y por ello cometes errores, esta última idea sostenida no solo por los medios masivos de comunicación sino por los contextos sociales del alumnado -padres de familia y profesores-.

Para concluir el apartado es importante puntualizar sobre la necesidad de continuar indagando sobre la similitud que manifiestan los niños entre el modelo de la evolución biológica y el modelo de ciclo de vida, con la intención de aportar al campo y seguir desmenuzando en los por qué de esta situación que aleja a los estudiantes de un modelo científico escolar más cercano al de la ciencia.

Porque el MC es único y los MCIs son varios

Una situación que podría llamar la atención al lector es ¿por qué mientras los MCIs en el grupo de aplicación de la estrategia son varios y de distinta naturaleza -como se ha

planteado en el capítulo 5-, mientras el modelo cognitivo inferido de las concepciones alternativas reportadas en la literatura es único?, las razones principales son dos: la primera es que el objetivo de los investigadores que reportaron en la literatura no era el de inferir un modelo cognitivo sino conocer las concepciones alternativas, por lo tanto las indagaron, encontraron coincidencia entre ellas y las afirmaciones -vistas de manera simplificada- de Lamarck y aportaron algunos elementos -indispensables para este trabajo- sobre aspectos generales de su naturaleza y resistencia al cambio en contextos educativos, pero no se fijaron si existían cualidades distintivas dentro de ellas, ya que no era su objeto de investigación.

Por lo tanto, lo que encontramos en la literatura era una serie de concepciones alternativas que por si mismas solo permiten inferir un modelo cognitivo expuesto en el capítulo uno.

La segunda razón es que lo que permitió que en nuestro caso identificáramos distintos modelos fue justo el tener distintas formas de acercamiento a los modelos cognitivos evidenciados del alumnado, las cuales fueron: las concepciones alternativas, el esquema que las organiza, el dibujo y la actividad de la nota periodística del topo. Esta variedad de instrumentos permitió que nos adentráramos a las particularidades de cada modelo cognitivo evidenciado y diéramos cuenta de él; lo que es complicado con las concepciones alternativas de los reportes ya que solo son una parcela del modelo cognitivo del alumnado.

La modelización en la enseñanza del fenómeno de la variedad de la vida una posición teórica viable

La modelización como enfoque teórico anclado en el constructivismo resulta una propuesta viable en la enseñanza del fenómeno de la variedad de la vida en lapsos prolongados de tiempo por varios aspectos como el hecho de que desde esta posición teórica no se descalifique o califique las concepciones alternativas de los alumnos, sugiere que es un enfoque que tolera las ideas distintas a las científicas. Esta postura de tolerancia permite que durante las actividades se valoren las concepciones

alternativas del alumnado y por lo tanto se fomente la expresión de las mismas con el claro objetivo de que el alumno se haga consciente de ¿cómo se explica ciertos fenómenos de la naturaleza?, para que posteriormente por medio de las actividades vea si esas concepciones le son suficientes para explicar el fenómeno en cuestión en distintos contextos. Cuando las concepciones alternativas demuestran su incapacidad explicativa en contextos distintos (Sanmartí, 2008), el alumnado requiere de nuevas ideas que le permitan explicarse de manera más abarcativa los fenómenos, permitiendo con esto el tránsito hacia concepciones que den cuenta de un modelo científico escolar más cercano al de modelo científico experto.

En caso de que al final de una estrategia didáctica basada en la modelización todo el alumnado no exprese un modelo muy cercano al MCEA no implica el fracaso de la misma siempre y cuando haya ocurrido una complejización de los modelos cognitivos iniciales hacia un modelo científico escolar con ideas congruentes con el MCEA, por lo que la tolerancia a construcciones distintas se sostiene y se presenta en esta estrategia. Además al tomar en cuenta que el modelo teórico de la evolución biológica es uno de los más complicados en su enseñanza y aprendizaje, como lo sostienen la investigación en el campo (Shayer y Adey, 1984; Paz, 2011), es aceptable que ocurriera una complejización del MCI acortando distancia con el MCEA en el alumnado.

Otro de los aspectos por lo que consideramos a la modelización una propuesta viable en la enseñanza de las ciencias es que como parte de la explicación de un fenómeno de referencia, la actividad se centra en intentar explicarlo desde las concepciones alternativas y luego tensionar estas a través de más actividades hasta ir generando paulatinamente modificaciones en el modelo cognitivo de inicio que hagan que se complejice hasta acercarse al MCEA. Lo que consideramos que de cierta manera ayuda a que no se presenten ideas que se relacionan cotidianamente con el modelo teórico que explica tal fenómeno, en el caso del modelo de evolución biológica en la literatura encontramos que los alumnos manifiestan argumentos religiosos al intentar explicarlo, y en la aplicación -y pilotaje- de la estrategia no se presentó ningún argumento de este tipo. Lo que podría explicarse porque el alumnado con el que se

aplicó la estrategia había tratado en clase el tema de evolución, por ello tal vez no manifestaron estas ideas o porque el iniciar desde la explicación de un fenómeno de referencia centra la atención de los alumnos en las cualidades que están observando y a trabajar en ellas.

Por último un aspecto que solo tiene cabida en la modelización es que el alumnado al final de la estrategia construya distintos modelos -aun habiendo participado en el mismo tipo de actividades-, lo que consideramos que se debe a tres razones principalmente: la primera es que los puntos de partida -modelo cognitivo inicial- de cada alumno son distintos ya que han sido estimulados de distinta manera escolar, social y culturalmente; por lo tanto sus puntos de arribo -modelos científicos escolares alcanzados- también tendrán que ser diferentes. La segunda es que durante la aplicación hubo cierto alumnado que faltó a las sesiones de manera constante, por lo que integrarse a las actividades científicas -después de sus ausencias- suponía mayor esfuerzo para él, por lo tanto su modelo científico escolar alcanzado resultó distinto al de alumnos que asistieron a clase regularmente. Lo anterior implica que la diversidad de modelos construidos tanto al principio de la estrategia como al final es un hecho invariable.

La tercera razón y más importante es que la modelización es una posición teórica que centra su campo de acción en la enseñanza más allá que en el aprendizaje, si bien su intención primordial es incidir en el, no es su centro el evaluar de manera individual y profunda los logros de aprendizaje de cada alumno, sino proponer un modo didáctico para enseñar cierto contenido a partir de una claridad epistemológica, de aprendizaje y enseñanza que sostenemos impactara en el aprendizaje del alumnado, pero no hacia solo cierto saber legitimado, sino la construcción de modelos científicos escolares.

La importancia de diseñar actividades que fomenten la argumentación y contraste de ideas en el alumnado, un ejemplo: el mapa conceptual

En una estrategia didáctica diseñada con claridad de que es aprendizaje y qué es enseñanza cada actividad debe tener un objetivo específico, dentro de la modelización

es importante dedicar una o varias de estas actividades científicas en el aula a la comunicación oral de las ideas del alumnado, con la finalidad de que las contrasten con las ideas del resto del grupo, sometiéndolas a juicio grupal donde la argumentación será la manera de sostenerlas o no.

Este es el caso de la actividad de construcción grupal del mapa conceptual, esta actividad tenía como propósito evidenciar las ideas que hasta ese momento de la estrategia manifestaran los alumnos al respecto de la evolución biológica para a partir de ellas inferir el modelo científico escolar intermedio; durante la elaboración de este mapa se presentó un debate sobre que argumentos eran más válidos para todo el grupo y así decidir que palabras y conectores ocuparían para elaborar su mapa conceptual, el debate dio lugar a dos tendencias en las ideas -que correspondían a los modelos científicos escolares intermedios *hacia el ciclo de vida y evolutivo*-, donde a partir de la argumentación y discusión académica los alumnos decidieron como exponer sus ideas y elaboraron un solo mapa conceptual.

La discusión sobre la validez de los argumentos del alumnado demostró que los alumnos que iban incluyendo ideas congruentes con el MCEA tenían argumentos más resistentes a las críticas que los argumentos de alumnos posicionados dentro de otros modelos científicos escolares, por lo que el modelo científico intermedio evolutivo represento a este grupo de alumnos que mostraron mejores ideas y exposición de las mismas. De manera que es necesaria en la modelización sugerir actividades que logren generar el contraste de ideas entre el alumno ya que se fomentan dos asuntos: primero que aquellas ideas más fundamentadas y abarcativas surjan, se comuniquen, se contrasten y comparen con otras ; y segundo que aquellos alumnos que no hayan logrado generar a partir de otras actividades una explicación que los satisfaga, adquieran a partir de la comunicación con sus pares elementos, relaciones o condiciones que les permitan acercarse a la construcción de su modelo científico escolar más abarcativo.

Un hecho en el ámbito educativo

Una situación que se presenta en el ámbito educativo -y por ello se expone como una última consideración- es que el alumnado aun después de haber trabajado en el aula temas científicos mantienen sus concepciones alternativas como su mejor explicación posible respecto a los fenómenos naturales Jiménez (1991; 248) comenta al respecto que “las ideas previas de las y los estudiantes no son fáciles de cambiar ... persisten incluso entre personas con estudios de ciencia”, otra situación que se presenta es que los alumnos mezclan estas concepciones alternativas con elementos de los modelos teóricos expertos y en ellos es posible la coexistencia (Jiménez, 2002).

El asunto anterior se evidencia en la investigación ya que del total de alumnos con el que se trabajo tanto la fase de pilotaje como la de aplicación definitiva mostró en sus modelos cognitivos iniciales concepciones muy lejanas al modelo científico experto y curricular sobre evolución biológica, aun cuando todos ellos habían tratado el fenómeno de la evolución biológica en sus clases de ciencias 1 algunos meses antes de la aplicación del pilotaje y desarrollo definitivo. La situación alarma ya que a pesar de haber tratado la temática la mayoría de los alumnos manifestaban un modelo cognitivo similar al modelo teórico del ciclo de vida; y aquellos alumnos que mostraron un modelo cognitivo con rasgos evolutivos lo hicieron desde la perspectiva del uso y desuso. Esta situación abre otra posible línea de investigación futura porque al no estar adentrados en los contexto del alumnado desconocemos su posibles causas -podríamos proponer algunas pero lo cierto es que las desconocemos-.

6.2 Contraste entre la teoría y la realidad

A salir de dudas

Durante el capítulo 1 se expusieron una serie de preguntas a razón de las cuales tiene sentido la presente investigación, en los siguientes párrafos nos referiremos a ellas exponiendo que tanto lograron ser resueltas.

La primera incógnita de investigación es **¿Cómo lograr que los estudiantes decidan abandonar sus confortables concepciones de sentido común sobre el modelo de**

la evolución biológica para transitar a un modelo más elaborado y cercano al de la ciencia experta?, la respuesta que podemos aportar a partir del desarrollo de la estrategia didáctica y de la revisión de la literatura respecto a la modelización, es que es necesario involucrar al alumno al posicionarlo como agente activo -física, emocional y cognitivamente- en el proceso de enseñanza, dejándolo actuar, pensar y comunicar frente a fenómenos naturales y maneras de acercarse a ellos propuestas por el docente (Sanmarti, 2008); apreciando sus modelos cognitivos iniciales pero cuestionándolos por medio de actividades que demanden vías de solución distintas a las confortables.

En función de lo anterior es que se puede lograr un alumno crítico que sepa discriminar entre lo que tiene que ver con modelos científicos expertos y lo que no tiene que ver con ellos, para que pueda actuar en contexto y darle sentido a lo que esta aprendiendo.

Durante el desarrollo de la estrategia evidenciamos dos asuntos importantes de mencionar al respecto de esta duda: el primero es que no todos los alumnos abandonan estas explicaciones confortables que en su contexto tienen lógica y sentido -o no las abandonan del todo-, lo que se evidencia sobre este grupo de alumnos -cuyo MCEAI es mezclado- es que en su modelo logran que coexistan elementos, relaciones y condiciones pertenecientes a varios modelos, modelos que para los teóricos podrían resultar incompatibles (Jimenez, 2002), pero que para ellos tienen sentido y conforman uno solo. Esta capacidad de coexistencia de ideas de varios modelos en uno solo salva a los alumnos, pues permite que su nuevo modelo explique situaciones que su MCI tal vez no puede contestar, pero al mezclarlo con otro lo que hacen es no abandonarlo solo acomodar explicaciones alrededor de el para que siga funcionando temporalmente.

El segundo asunto que evidenciamos es que los alumnos que logran abandonar su MCI es porque se involucran en las actividades de manera activa física pero sobretodo cognitiva, y lo demuestran argumentando, defendiendo sus ideas y generando ejemplos que les permiten darle sentido a la nueva información que reciben y que les

resulta más potente que la que tenían para explicarse el fenómeno de referencia. Si bien este grupo de alumnos no llegó del todo al MCEA, muestra en sus productos que complejizó su MCI hacia un modelo más cercano al de arriba.

Sobre el segundo cuestionamiento **¿Cuál es el modelo cognitivo de evolución biológica subyacente en las concepciones alternativas del alumnado en el que se aplicará la estrategia didáctica?**, respecto a ella podemos afirmar varios asuntos: el primero es que no se infiere un solo modelo cognitivo inicial sino varios, en nuestro caso particular, tres modelos cognitivos iniciales -cuyas cualidades y representaciones se encuentran expuestas en el apartado 5.2-; segunda es que solo uno de los modelos cognitivos iniciales compartía cualidades con el modelo cognitivo inferido a partir de la revisión de la literatura -el modelo cognitivo con *rasgos evolutivos*-; y por último que evidenciamos con asombro -ya que no estaba reportado en la literatura- la presencia de un modelo cognitivo *inclinado hacia el ciclo de vida* en un gran porcentaje (25/36) de alumnos. Los elementos, relaciones y condiciones así como los instrumentos que permitieron la inferencia de estos MCIs se han explicado a detalle en el capítulo anterior de esta tesis.

La tercera interrogante de investigación es **¿En qué medida una estrategia didáctica anclada en la construcción de modelos científicos escolares, incide en el aprendizaje de la evolución biológica?**, podemos plantear que claramente se vislumbra que la modelización es una manera que presenta acercamientos para lograr el aprendizaje en ciencias -aprendizaje visto desde la perspectiva de construcción de modelos científicos escolares a partir de la actividad científica en el aula-, ya que en el análisis de los datos encontramos que cuando los alumnos construyen modelos científicos escolares enlazan, organizan, interpretan, relacionan, etc., fenómenos de la naturaleza a través de dibujos, gestos y palabras -escrita y verbal- de manera eficaz partiendo de sus propios modelos cognitivos como lo argumenta Cubero (2005: 47) “la acción constructiva que realiza el sujeto promueve los cambios que se dan en su organización cognitiva, es esa construcción activa la que le permite progresar evolutivamente de unos niveles de desarrollo a otros más complejos”.

En referencia a lo anterior Izquierdo y Adúriz (2003; 3) plantean que “estructurar la actividad científica escolar alrededor de -la construcción de- modelos teóricos permitiría recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos y todas, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los sujetos den sentido al funcionamiento del mundo natural”, lo que implica que una estrategia didáctica anclada en la construcción de modelos teóricos es una vía recomendable para el aprendizaje en ciencias.

En ese sentido, los datos dejan claro que no todos los alumnos se acercaron de la misma manera al modelo científico escolar de arriba, aunque es visible que todos los alumnos transitaron desde su modelo cognitivo inicial hacia la construcción de algún modelo científico escolar final que tiene como cualidades ser más complejo que el modelo cognitivo inicial y que les permite darle sentido a una mayor cantidad de situaciones, como plantea Gómez (2007; 326) “así, cuando en el aula se construyen modelos teóricos que tienen sentido para los niños y las niñas y les posibilitan comprender el mundo haciendo, pensando, comunicando e integrando valores y maneras de intervenir en la realidad, hablamos de una ciencia escolar”. Y es que justamente inmersos en la actividad científica escolar que plantea la ciencia escolar es como se posibilita la construcción de modelos científicos escolares, es decir, se posibilita el aprendizaje.

No obstante falta un trabajo constante y experimental para lograr desarrollar las competencias profesionales que debe poseer un profesor que intenta llevar a cabo su práctica docente desde el enfoque de la modelización, ya que tanto el diseño como la impartición de una estrategia didáctica anclada en ella requiere claridad en sus supuestos epistemológicos, de aprendizaje y de enseñanza que se plasmen en las propuestas teóricas que genere en el aula.

La última interrogante de investigación es **¿Será pertinente la enseñanza de la evolución biológica en educación secundaria, desde la perspectiva de brindar al alumnado elementos que complejicen sus explicaciones sobre éste fenómeno?**,

este cuestionamiento surge a raíz de la revisión de la literatura respecto a la enseñanza de la evolución biológica en escolaridad básica, ya que se encontraron dos posturas al respecto de lo pertinente que puede ser enseñarla o no debido a su nivel de abstracción; por un lado encontramos a un grupo de investigadores (Shayer y Adey, 1984; Paz, 1999) que no recomiendan su enseñanza en nivel básico, argumentando que la exigencia cognitiva rebasa a los escolares que se encuentran en ese nivel. Por otro lado, existe un grupo de investigadores (Deadman y Kelly; 1978) que preocupado por los efectos de las fuentes extraescolares en la formulación de maneras explicativas al interpretar la evolución biológica, aconsejan que se enseñe desde la escolaridad básica.

Al respecto, el diseño, desarrollo y análisis de la estrategia didáctica **`construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: una estrategia didáctica sustentada en la modelización´**, nos permite argumentar que si bien la evolución biológica desde el modelo científico experto -síntesis evolutiva- es un modelo teórico complejo para cualquier grado escolar -las investigaciones apoyan este argumento (Jiménez y Fernández, 1989; Gené, 1991; Jiménez, 1991; Jiménez, 2009)-, su enseñanza en secundaria es posible si se considera que podemos propiciar que los alumnos incluyan paulatinamente elementos, relaciones y condiciones que vayan haciendo más complejos sus modelos científico escolares según su avance en la escolaridad básica (Izquierdo, 2002), y así paulatinamente reduzca distancia entre sus modelos científicos escolares y el modelo teórico aceptado por la comunidad científica.

Después de responder las preguntas teóricas que originaron esta investigación, se expone a continuación la relación entre las hipótesis teóricas iniciales y los datos y análisis aportados en el capítulo anterior.

El final de los supuestos

A partir de la revisión de la literatura sobre investigaciones en la enseñanza de la evolución biológica establecimos en el capítulo 1 una serie de supuestos teóricos al

respecto del problema de investigación, en este apartado esbozaremos la correspondencia entre estas hipótesis teóricas y lo que ocurrió durante la indagación.

Supuesto 1

El modelo cognitivo -inferido de concepciones alternativas encontradas- de los alumnos en buena medida presentarán similitud con las ideas -vistas de manera simplificada- lamarckistas. Además el significado que los alumnos otorgan a términos relacionados con evolución (como adaptación, por ejemplo) será distinto al científico.

Antes de argumentar sobre la concordancia entre el supuesto y la investigación, se debe puntualizar que el supuesto anterior esta formado por dos afirmaciones. La primera de ellas se refiere a la similitud entre las concepciones alternativas del alumnado y las ideas simplificadas lamarkistas, sobre lo que consideramos que existe una correspondencia parcial, ya que solo un porcentaje del 19.8% de los alumnos manifestó en sus concepciones alternativas ideas similares a las lamarkistas generando un modelo cognitivo inicial con *rasgos evolutivos*.

La segunda afirmación de este supuesto es que el significado que los alumnos otorgan a algunos términos relacionados con evolución biológica es distinto al científico, al respecto podemos plantear que esta afirmación coincide con lo que evidenciamos durante la investigación, ya que para todos los alumnos al principio de la estrategia conceptos como `adaptación`, `tiempo` e inclusive `cambio`, tenían una denotación totalmente distinta a la planteada desde el modelo científico experto (acostumbrarse/ adaptación, tiempo en años/ tiempo geológico y cambio poblacional/ cambio físico de un individuo), tal como argumentaron investigadores del campo como Grau y Manuel (2002) y De la Gándara y Gil (2002).

Supuesto 2

Una estrategia anclada en la modelización será viable para la enseñanza de la evolución biológica en el aula, entendida como la construcción de un modelo científico de los escolares más cercano al modelo teórico de la ciencia.

Este supuesto concuerda en gran medida con lo evidenciado, ya que un porcentaje considerable del alumnado 19/36 alumnos elaboraron un modelo científico escolar alcanzado cercano al modelo científico escolar de arriba -que es congruente con el modelo científico curricular y el modelo científico experto sobre evolución biológica-.

Si bien, no podemos afirmar que supuesto e investigación concuerda en su totalidad - ya que también se elaboraron otros dos modelos menos cercanos al MCEA en los que se evidencia un aumento en la complejidad del modelo cognitivo evidenciado hacia ellos, el MCEAI *mezclado* y el MCEAI *de uso y desuso*-, si planteamos que la modelización facilita el tránsito desde los modelos cognitivos evidenciados hacia distintos niveles de complejidad mayor que dependen de las actividades propuestas, la disposición del alumnado y el seguimiento completo de las actividades.

Supuesto 3

Los alumnos de educación secundaria podrán construir un modelo científico escolar de evolución biológica al reestructurar sus concepciones alternativas por medio de la actividad científica en el aula.

Este supuesto se corresponde con lo sucedido en la aplicación de la estrategia didáctica, pues los alumnos construyeron no solo un modelo científico escolar reestructurando sus concepciones alternativas sino tres distintos, con diferente nivel de cercanía al MCEA, en los que se distancian de sus modelos cognitivos evidenciados expuestas al inicio de la estrategia didáctica, al respecto Gómez (2006: 6) afirma que "la enseñanza de las ciencias como actividad de formación requeriría que los ciudadanos construyeran sus modelos dándoles sentido y no que aprendieran las abstracciones tal cual se han generado desde la ciencia erudita", por lo que construcciones diversas -aun a partir de contextos de aula similares- son posibles y aceptadas en el marco de la modelización.

A propósito de los propósitos

El propósito general de este trabajo fue proponer y analizar un mecanismo de enseñanza que permita y fomente el tránsito de los alumnos desde sus concepciones alternativas hacia la construcción de un modelo científico escolar de evolución que se acerque más al de la ciencia experta. De manera general podemos afirmar que el propósito se cumple en su totalidad. Durante el capítulo 1 se expusieron un par de particularidades, a saber:

3. Como punto de referencia se explorarán las concepciones alternativas del alumnado respecto a la evolución biológica, con la finalidad de inferir el modelo cognitivo del alumnado sobre evolución.

Al tomar en cuenta las concepciones alternativas del alumnado se infirieron tres modelos cognitivos iniciales:

4º. Modelo cognitivo inicial *inclinado hacia el ciclo de vida*

5º. Modelo cognitivo inicial con *rasgos evolutivos* y

6º. Modelo cognitivo inicial *inclinado hacia la tecnología.*

Por lo anterior podemos afirmar que la primera particularidad dentro del propósito se cumple, la segunda particularidad es:

4. El mecanismo que fomente el tránsito entre el modelo cognitivo inicial (inferido a partir de las concepciones alternativas) y modelo científico escolar de arriba es el diseño, implementación y validación de una estrategia didáctica con claridad en supuestos teóricos y epistemológicos, para su posterior análisis.

El mecanismo de tránsito entre estos modelos cognitivos iniciales y los posteriores modelos científicos escolares alcanzados (*evolutivo, uso y desuso y mezclado*) fue una estrategia didáctica llamada **construcción de modelos científicos escolares sobre evolución biológica: una estrategia didáctica anclada en la modelización** expuesta en el capítulo cuatro. Lo anterior nos permite afirmar que los propósitos se

han cumplido parcialmente y que dejan espacio suficiente para continuar investigando en el campo.

6.3 Los límites de la intervención

A punto de finalizar el presente trabajo de tesis es pertinente reflexionar sobre los límites que presento esta propuesta al desarrollarse en un contexto real, en los próximos párrafos se argumenta sobre las limitaciones y se hace posible sugerencias de cómo podría funcionar mejor esta propuesta.

Sobre la red semántica

Una de los límites de la investigación es el tiempo, sobre todo en lo que respecta a la aplicación y análisis de redes semánticas, ya que se considera interesante -no necesario- aplicar una red semántica final con una distancia de mínimo seis meses después del desarrollo de la intervención, lo que permitiría evidenciar el comportamiento del significado semántico en los alumnos al paso del tiempo. Esto es sólo un limitante parcial, ya que la intención del presente trabajo no es adentrarse en el significado semántico sino obtener un bosquejo general de los modelos elaborados por los alumnos en distintos momentos de la intervención mediante el uso de redes semánticas. Desafortunadamente en el caso de esta intervención fue imposible debido a que los alumnos con los que se aplicó la estrategia no se encontraban ya en la escuela de aplicación para el tiempo en el que se pensó regresar a aplicar la red.

Sobre el uso de materiales poco accesibles

Uno de los primeros límites de la propuesta es que se propone el uso de un juego que se encuentra en un sitio *Web*, para el que se tendría que tener acceso a las instalaciones necesarias: con equipos de cómputo para todo el alumnado así como *INTERNET*; lo que no es una realidad de todas las escuelas secundarias mexicanas - aunque políticamente se sostenga lo contrario-, por lo que de desear replicar la estrategia didáctica propuesta se debe modificar esta actividad en función del contexto de aplicación de la misma.

Las posibles modificaciones que se sugieren en esta consideración es realizar un juego similar en materiales accesibles -como papel, cartón y colores, formando tarjetillas, por ejemplo- o suprimir la actividad, siempre y cuando se proponga otra actividad donde el alumnado tenga acceso a información veraz sobre el proceso de evolución biológica - como la visita a una biblioteca o mínimo revisión de texto escolar-. No obstante, esto no deja de ser un limitante de la estrategia pues no considera todos los contextos escolares.

Sobre el número de actividades de la estrategia didáctica

Las actividades diseñadas para la estrategia tenían un propósito específico para cumplir los criterios de diseño y evaluación, no obstante durante el desarrollo de la misma algunas actividades por si solas cumplían varios de los propósitos, sobretodo porque se solicitó la constante participación del alumnado que por medio de sus aportaciones alcanzaba paulatinamente espacios que se pensaban alcanzarían con el apoyo de otras actividades; por ello se considera que después de una revisión exhaustiva se pueden reducir el número de actividades planteadas en la estrategia, con la finalidad de ahondar más en algunas de ellas que abordar todas, mayor profundidad menor número de actividades.

Sobre la forma y contenido de los instrumentos

Durante el desarrollo de la estrategia nos enfrentamos a que varios de los instrumentos contenían palabras que los estudiantes no conocían -a pesar de que estos fueron revisados y adecuados después del pilotaje-, esto no sabemos si se debe al bagaje cultural del alumnado que desconocía lo que es un topo -por ejemplo- o a que se usaron términos muy refinados para la edad de los escolares, no obstante se debe considerar de pensar en replicar o continuar investigando. Por otro lado, las instrucciones que habían resultado claras en las fases de pilotaje se complicaron un poco con los alumnos de aplicación definitiva, por lo que se debe tener sumo cuidado en cuanto al uso de forma en la elaboración de los instrumentos.

Otro aspecto del contenido es que después de analizar la estrategia notamos que muchos de los ejemplos utilizados en la parte de exploración de concepciones alternativas, introducción de nuevas ideas y de síntesis son correspondientes al reino animal, por lo que se sugiere la utilización de ejemplos más variados que abarquen a todos los reinos.

6.4 Consideraciones finales

El trabajo realizado durante los capítulos anteriores permite que en este momento de cierre afirmemos ciertos asuntos que nombramos consideraciones finales y se encuentran expuestos en los apartados posteriores.

El asunto del contexto y la metodología empleada

Existen una serie de situaciones que ocurrieron durante la aplicación de la estrategia didáctica sobre las que es importante crear medidas que faciliten la posible replica de la estrategia didáctica que este documento propone, estas medidas surgen de los efectos del contexto en el comportamiento de la estrategia didáctica y se enuncian a continuación:

- Al tener que trabajar con un grupo sin acercamientos previos es importante describir el tipo de actividades que se van a realizar, con la finalidad de que los alumnos conozcan el porque de la presencia de un docente externo y la importancia que tiene su participación en el trabajo.
- Por ello, es importante realizar una breve presentación donde se comunique al grupo la naturaleza de las actividades en las que participaran, la organización del espacio (salón de clases) y que se requiere un clima de respeto y tolerancia.
- Es posible que al plantear estrategias didácticas ancladas en la modelización al alumnado le sea difícil asumir que es un agente activo en el proceso de enseñanza y que tiene el control del discurso de la clase, por lo que el docente debe estar preparado

para sensibilizar al alumno al respecto o tendrá dificultades la modelización ya que es indispensable la comunicación del alumno en este enfoque teórico.

- Es importante la asistencia constante de los alumnos, ya que estrategias basadas en la modelización proponen actividades secuenciadas que avanzan en grado de complejidad y abstracción, por lo que alumnado inconstante tendrá que realizar esfuerzos mayores para lograr construir un modelo científico escolar.
- La diversidad de las actividades así como la integración activa de los alumnos en ellas son dos de las situaciones más atractivas para el alumnado en estrategias didácticas basadas en la modelización. Consideramos actividad diversa a aquellas maneras de proceder que incluyan vivenciar los fenómenos naturales en distintos escenarios -patio escolar, laboratorio, salón en estructura redonda, sala de medios, etc.- y de distintas formas -en experimentos, cuentos, relatos, juegos, etc.-; en todas las que el centro de la actividad tiene que ser el alumno. También consideramos la importancia de fomentar la actividad cognitiva del alumnado.
- Por último, se debe sensibilizar al alumnado sobre que el aprendizaje es un proceso al que se puede acceder desde distintas formas, por lo que no debe estar cerrado a ninguna de ellas, ya que todas representan una manera de cercanía con los distintos objetos de aprendizaje escolar.

6.5 Implicaciones a futuras investigaciones

La búsqueda de vías para lograr una enseñanza eficaz en el ámbito de la enseñanza de las ciencias es una de las principales preocupaciones del campo, en este sentido consideramos que el presente trabajo aporta algunos elementos de análisis pero sobretodo interrogantes sobre hacia donde dirigirnos ahora. Respecto al fenómeno de referencia confirmamos -en congruencia con la literatura al respecto- que debido a las implicaciones en medios de comunicación y socioculturales del modelo teórico que lo explica se vuelve un tanto más complicada su enseñanza, además de que por sí el modelo teórico de la evolución biológica es complicado porque sus supuestos básicos

hacen que dudemos de situaciones que observamos y con las que convivimos todos los días en nuestra cotidianidad. Por ello se necesita más trabajo al respecto.

En otro sentido, encontramos que uno de los modelos cognitivos iniciales inferido en el alumnado de aplicación de la estrategia no corresponde con nada de lo publicado hasta el cierre de esta tesis, esto abre un campo de indagación respecto al modelo cognitivo inicial del alumnado sobre el fenómeno de la variedad de la vida; así como un espacio de reflexión sobre lo impactante que resulta el medio contextual y los medios de comunicación masiva que rodea a los alumnos y perfilan los modelos que se construye para explicarse el mundo.

Además de las posibilidades de indagación que ofrece en si mismo el modelo teórico en cuestión, esta la consolidación del enfoque teórico de la modelización como propuesta eficaz para la enseñanza de las ciencias, ya que si bien manifestó grandes avances en la construcción de modelos científicos escolares más cercanos a un modelo de arriba planteado desde una profunda revisión teórica, son necesarias un mayor número de investigaciones al respecto para consolidar una propuesta tan potente como la modelización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albadalejo, C. y Lucas, A. (1988). Pupils' meaning for mutation. *Journal of Biological Education*, 22 (3), 215-219.
- Bachelard, G. (1981). *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Bateson, G. (1972). *Pasos para una ecología de la mente*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Brumbi, M. (1984). Misconceptions about the concept of Natural Selection by Medical Biology Students, *Science Education*, 68 (4), 493-503.
- Campos, M., Sánchez, Z., Gaspar, H. S., Paz R. V. (1999). La organización conceptual de niños de primaria acerca del concepto de evolución. *Reporte de investigación*, IIMAS, UNAM.
- Carretero, M. (1994). *Constructivismo y Educación*. Buenos Aires: Aique.
- Cavadas, B. (2011). La enseñanza de la evolución en Portugal en las primeras décadas del siglo XX, a través de los programas y libros de texto de zoología. *Revista de Pedagogía de la Universidad de Salamanca*, 17, 109-131.
- Curtis, H. et al (2011). *Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Chadwick, C. (2001). La psicología de aprendizaje del enfoque constructivista. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 31 (4), 11-126.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposición didáctica*. Grenoble: La Pensée Sauvage
- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales...¿distinta terminología y un mismo significado?. *Investigación en la Escuela*. 23, 33-43.
- Cubero, R. (2005). Elementos básicos para un constructivismo social. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 43, 43-61.

- Darwin, C. (2008). *El Origen de las Especies 10ª Edición*. Madrid: Porrúa.
- Darwin, C. (1993). *Autobiografía Charles Darwin*. Madrid: Laeloti.
- Deadman, J. y Kelly, P. (1978). What secondary boys understand about evolution, and heredity before they are taught the topics. *Journal Biology Education*, 12, 7-15.
- Delval, J. (1997) Tesis sobre el constructivismo. En Ma. Rodrigo y J. Amay (comps). *La construcción del conocimiento escolar (15-33)*. Barcelona: Paidós ,
- Delval, J. (1998). Las teorías sobre el desarrollo. En J. Delval *El desarrollo humano*. Madrid: Siglo veintiuno editores.
- De la Gándara, M. y Gil, D. (2002). El aprendizaje de la adaptación. *Monógrafo Alambique Didáctica de las ciencias experimentales* 32, 67-71.
- Dobzhansky (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of Evolution. *The American Biology Teacher*, 35, 125-129.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1989). Las ideas de los niños y el aprendizaje de las ciencias. En R. Driver, E. Guesne, A. Tiberghien (1989), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia (19-30)*. Madrid: Morata.
- Driver, R. y Oldham, V. (1986) Un enfoque constructivista del desarrollo curricular en ciencias. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Duit, R. (1994). Research on students' conceptions: Developments and trends. En Pfundt, H. Y Duit, R. (eds.). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Kiel: IPN.
- Dushl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencia. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.

- Ernest, P. (1995). The one and the many. En: L.P. Steffe J. Gale (Eds.), *Constructivism in Education* (459-586). N.J: Lawrence Erlbaum.
- Figuroa,J., Gonzáles,E. y Solís, V. (1981). Una aproximación al problema del significado: las redes semánticas. *Revista Latinoamericana de Psicología*. 13 (3), 447-458.
- Furió-Gómez, J. y Furió-Más, C. (2007). Historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación Científica*, 4 (3), 461-475.
- García, P. (2005). Los modelos como organizadores del currículum de 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. Adúriz-Bravo. *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. (279-295) Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- García, S., Martínez, M. Y Tiburzi, M. (2011). Interpretando la evolución de los seres vivos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 88-95.
- Gené, A. (1991). Cambio conceptual y metodológico en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución de los seres vivos. Un ejemplo concreto, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 22-28.
- Giere, R. (1999). Didáctica de la ciencia basada en el agente. Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 5-7.
- Giere, R. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las ciencias* , número Extra, 63-70.
- Gil, D. (1983). Tres Paradigmas básicos en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.

- Gil, D. y Carrascosa, T. (1985). Science Learning as a Conceptual and Methodological Change, *European Journal of Science Education*, 7 (3).
- Gómez, A. (2006). El modelo cognitivo de ciencia y la ciencia escolar como actividad de formación. *Configuraciones formativas 1. El estallido del concepto de formación*, 139-156.
- Gould, (2002). La estructura de la teoría evolutiva. Harvard: Harvard University.
- Grau, R. (1989). Evolución en los seres vivos. Unidad Didáctica: Sin publicar.
- Grau, R. y Manuel, A. (2002) Enseñar y aprender evolución: una carrera apasionante de obstáculos. *Monógrafo Alambique Didáctica de las ciencias experimentales*, 32, 56-64.
- Gutiérrez, A. (2004). La evolución en el aula: una síntesis reduccionista. *Revista Investigación en la Escuela*, 52, 45-56.
- Hallden, O. (1988). The evolution of species: pupils perspectives and school perspective. *International Journal of Science Education*, 10 (5), 541-552.
- Hernández, M.(2002). La historia en la enseñanza de la teoría de la selección natural, México, Tesis (Doctorado en Ciencias, Biología), Facultad de Ciencias, UNAM.
- Izquierdo, M. , Espinet, M., García, P., Pujol, R. y Sanmartí, N.(1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*, Extra, 79-91.
- James, W. (1889). *Principios de la psicología*. Madrid: Jorro.
- Jiménez, M.(1989). Los esquemas conceptuales sobre selección natural: Análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Jiménez, M. (1991) Cambiando las ideas sobre cambio biológico. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3) 248-256.

- Jiménez, M. (2002). *Aplicar la idea de cambio biológico. Monógrafo Alambique Didáctica de las Ciencias experimentales*, 32, 48-55.
- Jiménez, M. (2009). ¿Qué considera el alumnado que son pruebas de evolución?. *Monografía Darwin y el origen de los sistemas. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 62 , 43-50.
- Jiménez y Fernandez. (1989). ¿Han sido seleccionados o se han acostumbrado?. *Infancia Aprendizaje*, 47, 67-81.
- Jungwirth, E. (1975). The problema of teology in Biology as a problema of Biology-teacher Education, *Journal of Biological Education*, 9 (6), 243-246.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(3), 173-184.
- Kinnear, J. (1983). Identification of Misconceptions in Genetics and the use of computer simulation in their correction. *International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*, 83-92.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura económica
- Lamarck, J. (1809). *Filosofía zoológica*. Facultad de ciencias, México: UNAM.
- Ledesma, I. (2008). Jean Baptiste Lamarck: la primera teoría coherente de la evolución. En Llorente, J., Ruiz, R., Zamudio, G. y Noguera, R. *Fundamentos históricos de la biología* (423-436). México: UNAM.
- López, R. (2008). Idea del constructivismo. *Revista académica*, 2 (1), 17-28.
- López-Mota, A. (2002). *Reporte de una Estrategia Pedagógica*. Documento interno de trabajo, grupo de investigación sobre ideas previas UNAM- UPN.

- López-Mota, Á. (2002). Reporte de un estrategia pedagógica. Documento interno de trabajo, grupo de investigación sobre ideas previas UNAM-UPN.
- López-Mota, Á. (2003). El currículo como proceso. En Á. López, *Saberes científicos, humanísticos y tecnológicos: procesos de enseñanza y aprendizaje* (397-455), (1), México: COMIE/SEP/CESU.
- López-Mota, Á. (2006). Educación en ciencias naturales: Visión actualizada del campo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 21(30), 721-739.
- López-Mota, Á. (2011). Una Nueva Forma de Aproximarse al Diseño y Prueba de Estrategias Didácticas. Conferencia presentada en la *IX Reunión Nacional de UPN Natura Red* Pachuca, Septiembre 23 de 2011.
- López-Mota, Á. y Waldegg, G. (2002). La didáctica de las ciencias como campo de estudio en Guillermina Waldegg et al. (Coords.), *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria* (139-155). México: SEP.
- Lucas, A. (1971). The teaching of adaptation, *Journal of Biological Education*, 5, 86-90.
- Maciel, S. (2003). Concepciones sobre evolución biológica. Citado en Maciel, S. (2009). Concepciones sobre evolución biológica. Presentes en estudiantes de licenciatura en educación primaria. *Congreso de Profesores de Ciencias Naturales*, Boca del Río, Veracruz.
- Maciel, S. (2009). Concepciones sobre evolución biológica. Presentes en estudiantes de licenciatura en educación primaria. *Congreso de Profesores de Ciencias Naturales*, Boca del Río, Veracruz.
- Millán, P., Carmona, P. y Zárate, B. (1997). Comprensión y malentendidos del concepto de selección natural en estudiantes universitarios. *Revista Mexicana de investigación Educativa*, 2 (3), 45-66.
- Paz, R.V. (1999). La enseñanza de la evolución en la educación primaria como una evidencia

de los obstáculos a los que se enfrenta el niño para construir conceptos complejos. Ponencia, *V Congreso nacional de investigación educativa, COMIE*, Aguascalientes.

Piaget, J. (1968). *La construcción de lo real en el niño*. Buenos Aires: Editorial Proteo.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 221-227.

Pozo, I. (1987). *Aprendizaje de las ciencias y pensamiento causal*. Madrid: Visor.

Prieto, T. Y Blanco, A. (1997). *Las concepciones de los alumnos y la investigación en Didáctica de las ciencias*. Málaga: Visor.

Osborne, R. y Freyberg, P. (1990). *Learning in Science. The implications of children's science*. London. Heinemann.

Sánchez, Ma. del C.(2000). La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes, México, Tesis (Doctorado en Ciencias, Biología), Facultad de Ciencias, UNAM

Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y recibir: una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.

Sanmartí, N., Márquez, C. y García, P. (2002). Los trabajos prácticos, punto de partida para aprender ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 113-120.

Sanmartí, N. (2002). *La didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Barcelona: Síntesis Educación.

Sanmartí, N. (2007). *10 ideas clave. Evaluar para aprender*. Barcelona: Grao.

Sardá, J. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 405-422.

- Sarukhán, J. (2008). *Las Musas de Darwin*. México: Fondo de cultura económica.
- SEP. (2011). Planes de estudios Educación Básica. Secundaria. 2011. México: SEP.
- Schutz, A. (1995). *El problema de la realidad social*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Shayer, M. y Adey, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias*. Madrid: Narcea.
- Sussane, Ch. Y Rebato, E. (2006). ¿Están la enseñanza de la biología y de la evolución (humana) en peligro?. *Zainak. Cuadernos de Antropología- Etnografía*, 28, 279-289.
- Soto-Sonera, J. (2009). Influencia de las creencias religiosas en los docentes de ciencias sobre la teoría de la evolución biológica y su didáctica. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 14 (41), 515-538.
- Rodríguez, D. (2007). Relación entre concepciones epistemológicas y de aprendizaje, con la practica docente de los profesores de ciencias, a partir de las ideas previas en el ámbito de la física. Tesis doctoral. Universidad Pedagógica Nacional. México
- Ruiz, G. (2001). Educación y Evolución. *Temas de debate*, 196, 33-36.
- Ruiz, R. y Ayala, F. (2008). El núcleo duro del Darwinismo. En Llorente, J., Ruiz, R., Zamudio, G. y Noguera, R. (2011). *Fundamentos históricos de la biología* (455-481). México: UNAM.
- Torreblanca, M., Merino, G. y Lía de Longhi, A. (2009). Las jirafas no son como antes :¿un mito de los libros de texto?. *Monografía Darwin y el origen de los sistemas. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 62 , 51-62.
- Vera, J. (2005). Redes semánticas: Método y resultados. En A. Paredes *et al.* (2005). *Perspectivas teórico metodológicas en representações sociais*. Paraíba: Editorial universitaria.

Vygotski, L. (1984). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Infancia y Aprendizaje*, 27, 105-116.

Von Glasersfeld, E. (1996). *Aspectos del Constructivismo Radical*. Pakman.

Wandersee, J., Mintzes, J. y Novak, J. (1994). Research on alternative conceptions in science. En Gabel, D. (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning* (177-210). Nueva York.

Watzlawick, P. (1981). *¿Es real la realidad?*. Barcelona: Herder.

Zambrano, A. (2009). Las teorías pedagógicas, los modelos pedagógicos, los modelos disciplinares y los modelos didácticos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Instituto de Educación y Pedagogía/Universidad del Valle. Catedra/ICFES Agustín Nieto Caballero Educación en Ciencias.

Páginas Web

<http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/>

ANEXOS

Anexo 1

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

En función de aclarar las actividades de la estrategia didáctica se hace una descripción más detallada a continuación. En ella, se toma como punto descriptivo esencial el tipo de actividades que se realizan, señalando también aspectos como los propósitos, materiales y número de sesión:

Actividades de “Exploración de concepciones alternativas”

Sesión: 1

Nombre de la actividad: *Identificación del significado semántico del concepto evolución*

Propósito:

Conocer el significado semántico del fenómeno evolución para evidenciar rasgos del modelo inicial del alumnado.

Material: *Instrumento de significado semántico, plumones y pizarrón.*

Descripción:

Después de la explicitación de finalidades y propósitos del trabajo del docente externo se da paso a la actividad 1 “Identificación de significado semántico de evolución” se reparte una hoja donde además de solicitar datos básicos de identificación incluye instrucciones escritas sobre que se debe realizar (Anexo 2).

Esta actividad permite identificar las ideas previas -de manera escrita- que tienen los alumnos respecto al fenómeno estudiado (evolución). A partir de tres momentos: el primero es para enunciar los elementos lingüísticos que se asocian a la palabra EVOLUCIÓN. El segundo momento, permite conocer como relacionan esos elementos entre sí al elaborar un mapa conceptual donde relacionan los elementos lingüísticos antes explicitados. Y por último, la manera gráfica en que representan el fenómeno evolutivo en este caso particular por medio de un dibujo (donde se les indica que usen también palabras claves que permitan al observador entender mejor lo que tratan de enunciar en su dibujo).

Sesión: 1

Nombre de la actividad: *“El misterio del topo”*

Propósito:

Evidenciar los rasgos del modelo inicial que manifiesten los alumnos sobre evolución

Material: *Nota periodística ficticia, plumones, rotafolio.*

Descripción:

Terminada la actividad “Identificación de significado semántico” se reparte la hoja con la actividad “El misterio del topo” donde a partir de una nota periodística ficticia se pide a los alumnos resolver un

misterio ¿Por qué el topo antiguo es distinto en cuanto al tamaño de sus cavidades oculares al topo actual? los alumnos apoyados en algunos datos de la narración tienen que argumentar las posibles situaciones que ocasionaron la situación del topo.

Esta actividad se divide en dos momentos: el primero es el trabajo individual de resolución de problemas (después de una lectura grupal e identificación y clarificación de palabras desconocidas en el texto), los alumnos tienen que intentar resolver el misterio y redactar una explicación en la hoja de la nota periodística (Anexo 3).

En un segundo momento, se forman equipos donde los alumnos contrastan sus respuestas eligen la que más los convenza y elaboran un elemento gráfico donde expliquen como resuelven el misterio del topo (el elemento gráfico es de elección de los alumnos puede ser un dibujo, una redacción, un mapa, etc. La indicación es que el gráfico muestre su explicación sobre el “misterio del topo”).

Sesión: 2

Nombre de la actividad: “Exposición del misterio del topo”

Propósitos:

Que los alumnos elaboren su modelo inicial por escrito para dar cuenta y evidencia de las ideas que utilizan para explicar el fenómeno de la evolución.

Conocer la explicación oral y lo sólida que resulte al tener que exponer sus ideas

Material: *Nota periodística del topo, rotafolio, diurex, plumones.*

Descripción:

La sesión inicia con la actividad 3 “Exposición del misterio del topo” a partir del gráfico elaborado la sesión anterior los alumnos exponen en equipo sus ideas para explicarse el fenómeno evolutivo.

Durante la exposición, la profesora anota en el pizarrón las ideas más recurrentes en las exposiciones de los alumnos. Al término de las exposiciones se repartirá la “hoja de significado semántico” donde enunciaron los conceptos y las relaciones que utilizan para explicarse el fenómeno de la evolución; con estos elementos elaboraremos de manera grupal un resumen de ideas mediante un juego de movimiento con el que contestaremos las siguientes preguntas:

¿qué es para mí la evolución?

¿Cómo se presenta en los seres vivos la evolución?

¿Es posible encontrarla en seres que no estén vivos?

El juego de movimiento es canasta de colores: los alumnos eligen un color que los representa de manera individual y cuando su color sea enunciado por la maestra tienen que cambiar de lugar con compañeros

que hayan elegido el mismo color, la finalidad es activar a los alumnos y que todos elaboren el resumen de manera consensuada, pues al cambiar de lugar tienen que continuar elaborando el resumen en el cuaderno del compañero del que ocupan el pupitre.

Después se pide que algún alumno explique el misterio del topo en términos de las ideas manifestadas en el resumen grupal para cerrar la sesión preguntando: ¿y si existiera un ser vivo que a pesar de pasar grandes lapsos de su vida en la oscuridad, puede ver?, ¿conocen una suricata? ¿explica sus características evolutivas y su relación con el medio en el que vive?. Preguntas que tendrán que responder de tarea. Una segunda tarea es elegir un ser vivo e investigar ¿cuál es su ciclo de vida? y ¿Cuáles es su origen?- tarea que surge a partir de los hallazgos encontrados en el primer instrumento, que muestran la relación establecen los alumnos entre los procesos de ciclo de vida y evolutivo.

Actividades de “Introducción de nuevas ideas”

Sesión: 3

Nombre de la actividades: “Línea del tiempo” y “¿Qué pasa con la suricata?”

Propósitos:

Problematizar las explicaciones del alumnado explicitadas con anterioridad sobre el proceso que origina el cambio de los seres vivos en el tiempo.

Introducir el elemento tiempo como una construcción humana.

Material: Línea del tiempo en papel bond de color, plumones, hojas de color, investigación del alumnado

Descripción

La actividad de la sesión es “Línea del tiempo” con base en la información que los alumnos consigan sobre el ciclo de vida y el origen de algunas especies de seres vivos, elaboraremos una línea del tiempo en la que ellos decidirán como dividirla –la finalidad es explicitar la forma en que los procesos de crecimiento-ciclo de vida- y evolución – origen de la especie- se diferencian-.

Después copiaran la línea (o ramificación en el mejor de los casos) en sus cuadernos y escucharemos algunas de las explicaciones que elaboraron de tarea para el caso de la suricata – se espera que el grupo no se logre poner de acuerdo sobre lo que sucede con la suricata, es decir que el modelo anterior que han explicitado en el caso del topo sea insuficiente para explicar lo que pasa con este otro organismo-.

Como tarea tendrán que traer una foto donde estén retratados varios integrantes de su familia, alguna imagen con familias de otros animales, otras familias de plantas o de cualquier ser vivo.

Sesión: 4

Nombre de la actividades: “¿Somos igualitos? y Hasta ahora que se sobre evolución”

Propósitos:

Reconocer el potencial de la variabilidad como fuente de evolución y cualidad de los seres vivos.

Explicitación de posibles variaciones en el modelo inicial

Material: *Instrumento ¿somos igualitos?, cuaderno, fotografías e imágenes.*

Descripción

En la actividad de variabilidad se coloca a los alumnos en equipos de 4 a 6 personas y se les entrega el instrumento “¿somos igualitos?” (Anexo 4) donde con apoyo de sus fotografías familiares o imágenes de familias de otros animales y plantas (la formación de los equipos se determina por la variedad de organismos vivos en imágenes, buscando que haya representaciones gráficas de personas, otros animales, plantas y cualquier otro ser vivo en cada equipo). La intención de la actividad es reconocer la variabilidad como una característica en los seres vivos que se presenta gracias a la reproducción y recombinación genética.

Sesión: 5

Nombre de la actividades: “¿Quién quiere vivir un millón de años?”

Propósito:

Introducir nuevas entidades explicativas por medio de un juego interactivo y revisión de literatura.

Material: *Sala multimedia, Internet, instrumento de bitacora de la actividad, computadoras.*

Descripción

Actividad juego interactivo ¿Quién quiere vivir un millón de años? Aprovecha los recursos de multimedia, al trabajar con un juego web diseñado por Discovery sobre la evolución. Se les entregara una hoja (Anexo 5) en función de explicitar las ideas que los alumnos vayan integrando a su modelo inicial de evolución.

En red los alumnos tendrán que lograr que sus organismos (digitales) vivan a las distintas circunstancias que el medio les pone como: la carencia de suficiente alimento, la sobrepoblación de todas las especies, los depredadores, etc. Durante un millón de años para ser ganadores y después explicar como lo lograron con la finalidad de revisar el elemento azaroso en la evolución.

Grupalmente -en un primer momento- jugaremos el juego interactivo sobre evolución por selección natural. El reto principal del juego es lograr que el organismo (representado por lo que parece un mamífero) sobreviva un millón de años. Las principales condiciones del juego son:

1. Se deben elegir variedades del organismo de una muestra, pensando en aquellas que tengan cualidades que les favorezcan para sobrevivir.
2. Cuando se tenga la elección de los individuos, se da marcha al reloj que al avanzar representa la dinámica de la población, mostrando elementos como la reproducción, recombinación genética, cualidades fenotípicas heredadas, etc.
3. En algunos momentos una figura que simula ser Darwin, detiene el tiempo y le avisa al participante que se avecina alguna situación que puede afectar a la población, por ejemplo: un depredador, el alimento sólo se encuentra en lugares más altos, clima frío o caluroso en extremo, una enfermedad atacará, entre otros. Los participantes tienen la opción de “mutación” que permite brindar alguna característica a las poblaciones para que sean más resistentes, si el participante elige bien su población podrá sobrevivir a la contingencia. Después de hacer la elección se tiene que poner a correr el tiempo y esperar que la población sobreviva o no, de lograrlo la cualidad elegida como mutación por el participante se recombinara en más individuos.
4. La opción de mutación solo puede utilizarse un par de veces, por lo que de elegir mal se está perdiendo a la población y con ello el juego.
5. De tener buenas elecciones en la mutación y que el azar de las situaciones que pongan en riesgo a tu población permitan que sobreviva un millón de años, el participante gana el juego.

El juego cuenta con recursos como un diccionario sobre las variaciones que ayudarían a sobrevivir a ciertas condiciones del medio, quien lo relata es el propio Charles Darwin. También cuenta con un glosario con los significados de los principales términos en evolución por selección natural y un examen sobre conocimientos sobre Darwin y la selección natural.

El primer acercamiento será grupal para aclarar cualquier duda en las instrucciones y jugar un par de veces antes del final de la sesión. En un segundo momento jugarán en parejas con una hoja de argumentación a mano y su cuaderno con la instrucción de anotar aquellas palabras que no hayan considerado en explicaciones anteriores. La encomienda será que jueguen y diseñen una estrategia ideal para ganar el juego y sobrevivir el millón de años.

Actividades de “Síntesis (Construcción del modelo)”

Sesión: 6

Nombre de la actividades: *Juegos sobre evolución “el camuflaje”, “la sobrevivencia del más apto” y “las islas”*

Propósitos:

Que comiencen a estructurar las nuevas entidades en su modelo inicial.

Argumenten lo que hasta ese momento hayan modelizado como el proceso de evolución

Material: *Instrumento de registro de los juegos (individual), insectos de goma de distintos colores, manta de color verde, frutas de plástico varias, herramientas de plástico varias (pinzas, martillo, palillos, etc.), dulces diversos y semillas.*

Descripción

La sesión iniciara pidiendo que comuniquen sus reseña y su estrategia exitosa sobre el juego interactivo, después haremos un listado de las palabras nuevas que encontraron a partir del juego e intentaremos grupalmente aclarar su significado y registrarlo en el cuaderno (se prevee que algunos durante el juego hayan entrado al diccionario de palabras y quieran compartir los significados que encontraron).

¿Estas palabras nuevas ayudan a explicar lo que pasa con el topo y la zarigüella?

¿De qué forma?

Escribiran sus respuestas en su cuaderno y comentaran algunas grupalmente.

Después de esta redacción se desarrollaran tres juegos: “el camuflaje”, “la sobrevivencia del más apto” y “las islas”. Donde se evidenciaran distintos procesos inmersos en el modelo darwinista de la evolución, al poner, por ejemplo, a los alumnos a conseguir alimento solo mediante una herramienta que se les proporcionara pudiendo lograr o no conseguir el alimento. Para ello se repartirá al grupo hojas para analizar las actividades y dividirá en tres subgrupos, para cada juego los subgrupos elegirán representantes que participen mientras ellos observan lo que sucede.

Juego “ el camuflaje”

En el patio escolar se colocara una manta de metro y medio de diametro de color verde. En ella se vertiran el mismo de insectos de goma de distintos colores (verdes, negros, rojos, amarillos ,etc.). Se pedirá que los alumnos se sienten alrededor del círculo – con sus cuadernos y hojas de análisis de la actividad- que forma la manta dejando un espacio necesario de interacción para realizar el juego.

Los representantes de cada subgrupo se colocarán de espaldas al círculo de manta con insectos y se les dirá que ahora son aves predatoras que comen insectos y que el resto de su equipo son su parvada y tienen que alimentarla. La indicación será que caminanen dando la espalda a la manta y cuando la maestra diga “a cazar” tienen que tomar tres insectos y llevarlos a su parvada.

Se repetirán las indicaciones tres veces.

Al regresar al salón se hará un conteo sobre el color de los insectos cazados elaborando una Tabla comparativo de colores y subgrupos en el pizarrón, se dará tiempo de que llenen la hoja de análisis de la actividad (Anexo 6) y la comentemos grupalmente.

Juego lucha por la sobrevivencia

El siguiente juego es “la lucha por la sobrevivencia del más apto” en el los subgrupos eligen participantes distintos para cada una de las pequeñas fases del juego:

- a) **Obtener alimento de un lugar lejano:** se coloca las frutas – plásticas- a distancia de los participantes y a la misma cuenta correrán para agarrar un alimento.
 - b) **Alcanzar comida:** la maestra lanza las frutas al aire los alumnos saltarán para alcanzar alguna.
 - c) **Buscar comida:** se esconden las frutas en alguna área delimitada del patio escolar y tendrán que buscarla.
 - d) **Ocupar un espacio:** El profesor trazará un círculo pequeño en el piso de manera que sólo haya espacio para algunos participantes, se colocan los alumnos a distancia y a la misma cuenta se dirigirán hacia el círculo para permanecer dentro de él.
 - e) **Tener una pareja:** Los alumnos harán una rueda donde caminarán en círculos simulando un “cortejo” (tiene que ser un número de alumnos impar) cuando el profesor lo indique tendrán que formar parejas rápidamente. El alumno que quede sin pareja será en este caso el que no pudo reproducirse.
- Al regresar al salón se llenará la hoja de análisis de la actividad (Anexo ___) y comentarán las respuestas grupalmente.

Juego las islas

El último juego es “ Las islas” a cada integrante del grupo se le entrega un instrumento (popotes, herramientas de plástico como pinzas, llaves de turcas, martillos, palillos chinos, etc.) y se les enumera del uno al tres.

Ahora en el centro del patio se colocan tres círculos de papel china, al primero lo llamamos isla uno y se colocan bombones, otro isla dos y se colocan gomitas comestibles de gusanos, el último es la isla tres y se colocan lunetas pequeñas (en todas las islas el alimento es insuficiente para el número de alumnos que habrá por isla). Los alumnos a los que se les asigno el número uno son habitantes de la isla número 1, los dos de la isla número 2 y los tres la isla número 3.

La indicación es que nacieron con la herramienta que la profesora les proporciono y es la única que tienen para conseguir alimento y que viven en la isla que les fue asignada. Así que a cada isla se le asignaran dos minutos para que los alumnos se alimenten. La alimentación se hará isla por isla para asegurarnos de que sólo usen la herramienta que se les asigno.

Después de que todos los habitantes de las islas tengan su tiempo para alimentarse, se regresará al salón y llenarán la hoja de análisis (Anexo 6) y la comentaremos en grupo.

Actividades de “Generalización”

Sesión: 7

Nombre de la actividades: “Mapa conceptual sobre evolución” y “Carta a Darwin”

Propósitos:

Argumenten lo que hasta ese momento hayan modelizado como el proceso de evolución darwinista.

Redacte una respuesta congruente a la carta de Darwin.

Ilustren y explique la evolución biológica en el relato de una bacteria.

Material: *Instrumentos sobre los juegos, pizarrón, plumones, instrumento de carta a Darwin*

Descripción

Actividad mapa conceptual sobre evolución, con base en las actividades realizadas y con la orientación de la maestra, el grupo elabora un mapa conceptual por medio de una plenaria donde integren los conceptos principales y ejemplos del modelo de evolución por selección natural.

Al termino se les entregare una carta ficticia de Darwin (Anexo 7) donde rescata elementos históricos como poco gusto por la escuela y brillantez nata para observar , describir y clasificar la naturaleza.

Después de la lectura grupal de la carta se les pide que expliquen que relación creen que tiene este personaje con lo que hemos estamos haciendo (se preveé que los alumnos planteen que el es el creador de la teoría de la selección natural , pues viene explicito en el juego interactivo y en las tareas de algunos alumnos). Tendrán que contestar las cuestiones que plantea la carta de Darwin y hacer una redacción en ella sobre lo que han entendido de su modelo teórico.

Descripción

Actividad Relato de una bacteria (Anexo 8), con la intención de que los alumnos muestren su capacidad para aplicar el modelo de evolución construido durante las clases en una situación distinta, se les planteara un relato que hace referencia a una bacteria hospitalaria en el que tendrán que describir que le sucede mientras intenta sobrevivir, elegir un nombre al relato e ilustrarlo.

Anexo 2

“Significado semántico”

Nombre del alumno: _____ Fecha: _____

Edad: _____ Grado: _____ Grupo: _____ Turno: _____

1.- Escribe las primeras 10 palabras que vienen a tu mente, cuando ves o escuchas la palabra **EVOLUCIÓN**.

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

2. Con las palabras que escribiste anteriormente, elabora un esquema en el que describas como se relacionan unas con otras, utiliza también la palabra **EVOLUCIÓN**.

3.- Mediante un dibujo, explica como crees que ocurre la evolución. (Dibuja en la parte de atrás de la hoja).

Anexo 3

“El misterio del topo”

Instrucciones: Lee la siguiente nota e intenta resolver el problema



En 1805 un naturalista francés llamado Jean Baptiste Lamarck encontró un misterioso esqueleto. El resto fósil poseía todas las características de un interesante mamífero cuyo modo de vida es subterráneo: un cuerpo cilíndrico y compacto, sus extremidades cortas y fuertes, en sus patas delanteras tenía grandes uñas orientadas al interior del animal, el hocico puntiagudo y media 18 cm.

Esta descripción permitía que Lamarck pensara que el animal era un "topo", pero había algo que lo desconcertaba totalmente: el esqueleto mostraba grandes cavidades oculares (los orificios donde se ubican nuestros ojos) mientras que los topos actuales y en su tiempo tienen todas las características que tiene este animal, pero con cavidades oculares muy pequeñas o inexistentes. Jean Baptiste concluyó que se trataba de un topo pero ¿cómo es posible que los topos actuales no tengan ojos como los del esqueleto.

Ayuda a Lamarck a explicar ¿qué paso con el topo? Y ¿qué explicaciones propones para el misterio del topo?

Anexo 4

Juego ¿Son igualitos?

Introducción

Todos los seres vivos que forman tu grupo escolar son organismos que pertenecen a la misma especie porque se alimentan de manera similar, se pueden reproducir entre ustedes, tienen funciones vitales idénticas, entre otras cosas. Por ello son llamados: *homo sapiens sapiens*. Tu familia es otro ejemplo de organismos que pertenecen a la misma especie.

Instrucciones:

1. Tu equipo esta formado por varios integrantes todos de la misma especie, ¿cómo puedes diferenciar uno de otro?
2. Obsérvense cuidadosamente e identifica sus características. Escríbelas en la Tabla ¿en que son diferentes o iguales?
3. Registra los datos (compañero y características) en la Tabla siguiente:

Compañero	CARACTERÍSTICAS					

4. Para concluir contesta las siguientes preguntas atrás de la hoja:
 - a) ¿En qué fueron iguales?
 - b) ¿Cuáles fueron sus diferencias?
 - c) ¿Crees que estas diferencias también ocurran en la naturaleza? Da un ejemplo

Anexo 5

Juego interactivo ¿Quién quiere vivir un millón de años?

Mi argumentación sobre la evolución

Mi idea es que
Mis razones son
Argumentos en contra de mi idea pueden ser
Convencería a alguien que no me cree
La evidencia que daría para convencer a otros es que

Ideas que tenía antes del juego para explicar el proceso de evolución	
Pon un ejemplo para explicar esas ideas	
Ideas que tengo después del juego	
Con que argumentos convenzo a los demás de mis ideas	
Que nuevas palabras relacionadas con el proceso de evolución encontré en el juego	

Anexo 6

Juegos sobre evolución

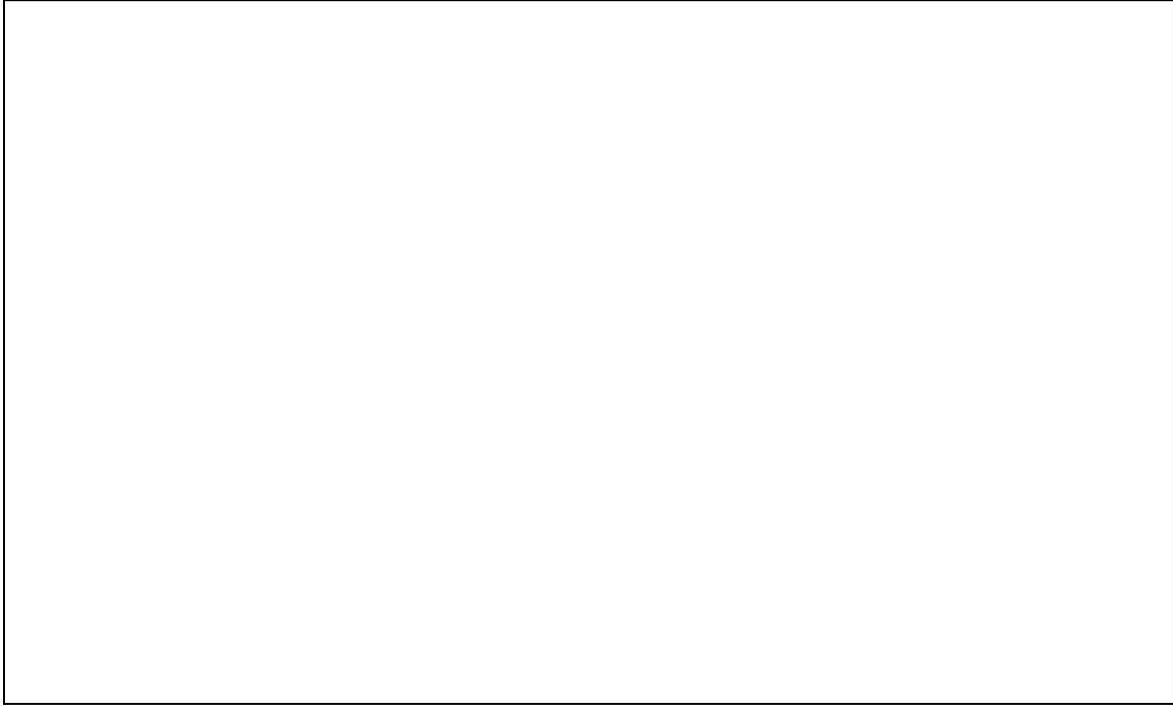
Juego del “Camuflaje”

1. Todos los jugadores son depredadores y se darán vuelta (de espaldas) al área de juego.
2. En una primera ronda, todos pasarán uno a uno y tomarán 3 insectos o arácnidos rápidamente y sin tardar en elegirlos (recuerda que los insectos son las presas)
3. Completen entre todos la siguiente Tabla:

RONDAS	Presas ____ capturadas	Presas ____ capturadas	Presas rojas capturadas
1ª.			
2ª.			
3ª.			
TOTAL			

4. Repitan el procedimiento 2 veces más hasta completar 3 rondas
5. Para concluir contesten:
 - a) ¿De qué color fueron las presas más atrapadas?
 - b) ¿De qué depende el hecho de atrapar más presas de un color que de otro?
 - c) ¿Qué pasaría con las presas capturadas más frecuentemente a futuro? ¿y que pasaría con las menos capturadas?}
 - d) ¿Los depredadores eligen a sus presas intencionalmente? ¿por qué?
 - e) Si el medio en el que viven las presas cambiara ¿serían los mismos resultados?

Ideas nuevas

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for writing new ideas. It occupies the central portion of the page.

Juego 3 “Lucha por la existencia”

1. Estas a punto de comenzar una lucha por sobrevivir, para hacerlo tendrás que superar cada una de las pruebas para conseguir alimento, espacio, o pareja para reproducirte. Sólo recuerda que los recursos son menores al número de individuos existentes. Sólo podrás agarrar un alimento a la vez.
2. Completa la siguiente Tabla con la experiencia de cada situación que se presente:

SITUACIÓN	CARACTERÍSTICA DE LOS SOBREVIVIENTES	ALUMNOS QUE SUPERARON LA PRUEBA
I. Obtener alimento		
II. Alcanzar comida		
III. Buscar comida		
IV. Ocupar un espacio		
V. Tener una pareja reproductiva		

Para concluir contesten en su cuaderno y atrás de la hoja:

- f) ¿De qué depende que algunas veces se pueda obtener alimento y otras no?
- g) ¿Fueron siempre los mismos sobrevivientes en todas las situaciones? ¿Por qué?
- h) Si necesitas una característica y la deseas con todas tus fuerzas (por ejemplo rapidez, más altura,) ¿la puedes conseguir?
- i) ¿Existió una competencia entre los participantes? ¿por qué?
- j) Si la característica requerida en cada situación, la poseen los competidores, entonces ellos sobreviven... esta hipótesis es ¿falsa o correcta? fundamenta tu respuesta.
- k) ¿Qué crees que pasaría en el futuro con quien no obtuvo comida, espacio ni pareja?

Sin alimento: _____

Sin espacio: _____

Sin pareja: _____

- l) ¿Qué ocurriría con los que si lograron obtener comida, espacio y pareja?

- m) ¿Quién eligió a los sobrevivientes?
- n) **Obtener alimento de un lugar lejano:** se coloca las frutas a distancia de los participantes y a la misma cuenta correrán para agarrar un alimento.
- o) **Alcanzar comida:** el profesor lanza las frutas al aire los alumnos saltarán para alcanzar alguna.
- p) **Buscar comida:** se esconden las frutas en alguna área delimitada del patio escolar y tendrán que buscarla, no hay límite de tiempo.
- q) **Ocupar un espacio:** El profesor trazará un círculo pequeño en el piso de manera que sólo haya espacio para algunos participantes, se colocan los alumnos a distancia y a la misma cuenta se dirigirán hacia el círculo para permanecer dentro de él.
- r) **Tener una pareja:** Los alumnos harán una rueda donde caminarán en círculos simulando un “cortejo” (tiene que ser un número de alumnos impar) cuando el profesor lo indique tendrán que formar parejas rápidamente. El alumno que quede sin pareja será en este caso el que no pudo reproducirse.

“Las islas”

Nadie elige donde nacer o las cualidades que tendrá en su vida. En este juego tendrás que alimentarte con la cualidad que la maestra te otorgue y en la isla que te toque por azar... ¡Suerte!

1. Acepta la herramienta que la maestra te otorga.
2. Intenta alimentarte con esa herramienta en tu isla.

¿Lograste conseguir alimento? ¿Por qué?

¿Qué pasa con aquellos organismos que no consiguen alimento?

¿Todos sobrevivieron en las islas?

¿De qué depende que vivieran los que lograron alimentarse?

¿Podrías decir qué es ser apto?

¿Hubo algún tipo de competencia en las islas? ¿Cuál? ¿De qué forma?

Anexo 7
Carta a Darwin

¡Hola!

Les escribo estas líneas desde un hermoso barco llamado el Beagle mientras se encuentra anclado en un conjunto de “nuevas islas” nombradas galápagos, debido a unas enormes tortugas que en ellas viven. ¿Cómo llegue aquí? Tendré que contarles un poco de mi vida...

Desde niño tuve una gran curiosidad por observar todo lo que me rodea, creo que fue gracias a que pasaba largas temporadas en la casa de campo de mi abuelo Erasmus. Donde pude recolectar y coleccionar desde hojas de todos tamaños hasta insectos de los más raro y asqueroso que se imaginen. Así pase mi divertida infancia hasta que llegó el momento de entrar a la escuela. Debo confesar que está no era uno de mis lugares favoritos como para muchos de ustedes.

Un día mientras caminaba por un muelle en mi natal Inglaterra encontré a mi maestro de botánica (Heswlon) platicando con el simpático capitán de un barco, al detenerme para saludarlo me invitaron a realizar el que sería el viaje más maravilloso de mi vida. Este viaje duraría 2 años (supuestamente pues ya llevamos recorriendo el mundo un poco más de cuatro años) y viajaríamos a un continente reciente que no ha sido completamente descrito (América del Sur). De inmediato fui con mi padre y le conté mis planes.

Así en Febrero de 1831 inicié esta travesía, de la que esperaba cosas sorprendentes. Desafortunadamente no todas ellas me gustaron, pues resulta que no soportaba estar en alta mar perdía el equilibrio constantemente y vomite todos los lugares posibles, sin contar que tuve que soportar el mal genio del capitán FitzRoy. Afortunadamente llevaba un interesante ensayo de alguien llamado Roberto Malthus y me refugie en mi camerino leyendo (no me crean aburrido en estos tiempos no hay ipod's) en el decía que el incremento humano era mayor a la producción de alimentos, es decir siempre habrá más personas que alimento ¿Qué querrá decir esto?

En Uruguay recibí un texto de mi tocayo Lyell donde planteaba que la Tierra esta en constante cambio y lo pude comprobar cuando estando en Chile observe como cambia el paisaje con la erupción del volcán Osorno y aquí mismo como han surgido estas islas recientemente gracias a la erupción volcánica en el mar.



Son muchas las cosas que me han impactado en este viaje imaginen encontré al estar en Argentina los huesos de un perezoso gigante cuando actualmente son pequeños; o ver en la altura de una montaña los restos fósiles de animales marinos ¿Cómo llegaron allí?. Lo más sorprendente lo estoy observando en estas islas donde encuentre unas aves llamadas pinzones, que a pesar de ser de la misma especie muestran muchas diferencias ¿a qué se deberá? Por ejemplo en algunas islas su pico es curvado y muy delgado mientras que en otras su pico es grande y grueso ¿qué habrá pasado con estas aves?

Bueno chicos me voy a seguir recolectando, espero volver a escribirles pronto.

Atentamente: Charles Darwin

INSTRUCCIONES: Contesta la carta de Darwin, ayudándole a explicar sus observaciones:

- ¿Cómo le explicarías a Darwin por que los pinzones son tan distintos a pesar de provenir de la misma especie?
- Qué observaciones de las relatadas en la carta le sirvieron a Darwin para pensar que las cosas cambiaban? ¿Cómo habrá llegado a esas conclusiones?
- ¿Qué cualidades de Darwin crees que le hayan ayudado a explicar la evolución?
- ¿Quién apoyo a Darwin en la formación de su teoría sobre la evolución de las especies?

Recuerda que estas son sólo una guía, tú debes redactarle una carta, no contestar las preguntas.



Anexo 8

Relato de una bacteria

25 de febrero 2010

Escribo estas líneas desde una rejilla, donde me encuentro escondida de los peligrosos ataques contra mi especie que cada día son más intensos. Esta historia de violencia comenzó en el momento en que nací. Los ancestros relataron que esto no fue siempre así, ellos vivían tranquilamente anidando por doquier hace infinidad de años.

Pero todo cambio súbitamente, en el instante en que los pluriandes supieron de nuestra existencia comenzaron los ataques. La guerra entro a mi vida uno de esos minutos tranquilos que compartes con tu colonia, estábamos descomponiendo un tejido felizmente cuando grandes chorros de letal agua con jabón cubrieron nuestro territorio, aun recuerdo como mi madre abrazo a mis hermanas mientras el agua/ jabón terminaba con ellas, yo permanecí quieta esperando el final, pero no llego, solo me desmaye.

Al siguiente segundo, cuando desperté en medio de la confusión, una sensación de horror nos embargo al ver los restos de nuestras colonias desperdigados, de los cientos que éramos solo quedamos 9. El recuerdo de ese minuto no abandonara nuestras mentes pues genero la pregunta ¿por qué sobrevivimos nosotras?

La naturaleza no se detiene y los segundos siguen pasando, los sobrevivientes intentamos recuperarnos y el momento de ser madres y abuelas nos llevo a todas, en algunos minutos estaba rodeada de mi bella descendencia, ahora puedo notar que la mayoría de ellas tienen una membrana muy flexible y amarillenta. La descendencia de las otras sobrevivientes también muestran esta membrana en su mayoría, aunque hay algunas que no dejan de recordarme la porosa y gruesa membrana de mi aniquilada madre y hermanas.

Existen seres sin límites, y los pluriandes son los principales representantes de ello, no contentos con la masacre que produjeron minutos antes, volvieron con sus chorros de agua/jabón a exterminarnos por completo. Sólo pude abrazar a mi colonia mientras esos chorros nos golpeaban, una vez más perdí el sentido.

Al recuperarme, la sorpresa fue enorme ¡una vez más sobreviví!, y no sólo eso todas mis hijas y las de las demás colonias que tenían la membrana flexible también estaban vivas, las únicas que nos abandonaron son aquellas más parecidas a nuestros antepasados. Parecía que esta membrana flexible con la que nacimos nos ayudaba a estar vivas, a pesar de lo que pase en nuestro entorno.

Con tal suerte, nos reproducimos una vez más. Era una hermosa vista impregnada de seres como yo con membrana flexible, pero de distintos colores. "Ahora si los pluriandes han perdido"- pensé- más nunca debes confiar en seres tan egoístas.

Hoy en la tarde del 25 de febrero, sólo una hora después de ese festejo, me encuentro escondida con lo que quedo de mi colonia, la membrana flexible no fue suficiente ante los creativos pluriandes, que lanzándonos un polvo blanquecino han logrado aniquilar a la mayoría de nuestras colonias. Estoy agonizando, ese polvo desbarata mi membrana rápidamente, solo puedo despedirme de mi tataranieta y algunas otras allegadas a las que el

polvo blanco no les afecta, parece que su membrana rosada lo repele perfectamente, ellas son nuestra esperanza, gracias a ellas sobrevivirá mi legado.

Instrucciones :

1. En la línea en blanco inicial, asigna un nombre que consideres pertinente para el relato que acabas de leer.
2. Ilustra algunos de los momentos que consideres importantes del relato.
3. Explica el proceso evolutivo que se presenta en las bacterias del relato elaborando algún gráfico, mapa conceptual o redacción, donde utilices ejemplos del relato y las relaciones con la teoría evolutiva.