



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis de los contenidos de biología evolutiva en
los libros de texto gratuitos, sexto grado de
educación primaria, 2013**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ATENEA GARZA LEVY

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. ERÉNDIRA ALVAREZ PÉREZ

2014





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del jurado

1.- Datos de la alumna

Garza
Levy
Atenea
56595492
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
099115469

2.- Datos de la tutora

M. en C.
Eréndira
Alvarez
Pérez

3.- Datos del sinodal 1

Dra.
Julieta Valentina
García
Méndez

4.- Datos del sinodal 2

M. en C.
Fabiola
Ramírez
Corona

5.- Datos del sinodal 3

M. en C.
María Alicia
Villela
González

6.- Datos del sinodal 4

Biol.
Alejandra
Ortiz
Medrano

7.- Datos del trabajo escrito

Análisis de los contenidos de biología evolutiva en los libros de texto gratuitos,
sexto grado de educación primaria, 2013
68pp
2014

Agradecimientos

A mis papás, por todo. A mi mamá por el amor incondicional y a mi papá por el ejemplo de disciplina y erudición, y por haberme pedido el mejor regalo de cumpleaños.

A Vicky, por ser mi hermana y por revirar las enseñanzas con cada vez mayor precisión.

A mi abuelo, por el cuidado y por los recuerdos (propios y ajenos).

A mi abue, por ser un espejo claro para los corazones.

A Vero, Celia y Lenin, por las infancias y los cariños.

A Marce, porque ser postiza se siente muy real.

A mis amigos, porque son lo máximo.

A las familias, por estar cerca y por no dejar que me aleje demasiado.

A A, por el impulso y por la reciprocidad de lo infinito.

A BSh. et al., a TK y a VTC, por la guía y por la paciencia, por la gran generosidad y por predicar con el ejemplo.

A Eréndira, por haberme acompañado de principio a fin y porque privilegia la humanidad ante la jerarquía.

A Rosaura, por abrir caminos.

A Lu, porque embellece portadas antes de juzgar al libro.

A Julieta, Alita, Fabiola y Alicia por las observaciones que tanto nutrieron esta tesis.

A LyL, por su ayuda indispensable.

Contenido

Resumen	5
Introducción.....	6
Capítulo I. Fundamentos disciplinares	8
1.1 Teorías Evolutivas	8
1.1.2 La Teoría Sintética de la Evolución Biológica	9
1.1.2.1 Conceptos fundamentales	13
Variación	14
Mutación.....	16
Azar	17
Selección natural.....	18
Adaptación	19
Población	20
Especie	21
Especiación	22
Extinción	24
Ancestro común	25
Capítulo II. Fundamentos didácticos.....	26
2.1 Transposición Didáctica	27
2.1.2 Transposición didáctica de la biología evolutiva.....	28
Capítulo III Contexto educativo.....	29
3.1 Panorama de la Educación Básica en México	30
3.1.1 Los Libros de Texto Gratuitos.....	30
3.1.2 Los LTG y las Reformas a la Educación Básica	31
3.2 Panorama de los Fines Educativos actuales.....	34
3.2.1 Plan de Estudios	34
3.2.2 Programa de Estudios	35
3.2.3 Mapa curricular	36
3.2.4 Competencias	37
3.2.5 Perfil de egreso	38

Capítulo IV Análisis de los contenidos de Biología Evolutiva del libro de Ciencias Naturales, Sexto Grado	39
4.1 Categorías de análisis	40
4.1.1 Presencia, precisión e interrelación de Conceptos Fundamentales de Biología Evolutiva	41
4.1.2 Imágenes	46
4.1.3 Actividades de aprendizaje	48
4.1.4 Relación con el Programa de estudios	53
Discusión	54
Conclusiones	57
Anexos	60
Referencias	64

Resumen

Con la puesta en marcha de la Reforma Integral de la Educación Básica (2004-2009), la Secretaría de Educación Pública se dio a la tarea de elaborar Libros de Texto Gratuitos (LTG, en adelante) acordes con el modelo educativo basado en competencias que esta Reforma tiene como eje rector.

Esta tesis tiene dos objetivos principales: el primero es establecer un marco de fundamentos disciplinares y didácticos que sustente el análisis de los contenidos de biología evolutiva presentes en los Libros de Texto Gratuitos de Ciencias Naturales para Sexto Grado de Educación Primaria, edición 2013. El segundo consiste en valorar la transposición didáctica presente en estos materiales a la luz de un marco teórico –disciplinar y didáctico- y de los contenidos de biología marcados en el Plan de Estudios vigente. Cabe mencionar que se analizó exclusivamente el Tema 1 del Bloque II de los libros, por ser esta la sección en la que se presentan los contenidos de biología evolutiva.

En el Capítulo I, se presenta a la Teoría Sintética como aquella que prevalece en el ámbito educativo como marco disciplinar de la biología evolutiva. Por consecuencia, se seleccionaron y expusieron algunos de los conceptos considerados como fundamentales desde la perspectiva de esta teoría. Se destaca, asimismo, la importancia que tiene la enseñanza-aprendizaje de una red conceptual para comprender el proceso de la evolución biológica.

El Capítulo II presenta a la Teoría de la Transposición Didáctica como aquella que afirma que el saber producido en el ámbito científico debe ser transformado en un saber que pueda enseñarse en contextos distintos a aquél, por ejemplo en las aulas. Durante dicho proceso, debe haber una constante vigilancia para impedir que el saber a enseñar se aleje en demasía del saber erudito pero que sea distinto a éste, en tanto asequible para los estudiantes.

En el Capítulo III se esboza el contexto en el que se enmarca el Libro de Texto Gratuito analizado, incluyendo una breve revisión histórica de las Reformas Educativas y presentando distintos componentes de la que está vigente en educación primaria desde el año 2009, tales como Planes y Programas de estudio, Mapa Curricular, Competencias y Perfil de Egreso.

Una vez sentadas las bases disciplinares, didácticas y contextuales, en el Capítulo IV se presenta el análisis realizado. Se analiza en primera instancia el contenido conceptual de los Libros, posteriormente las imágenes y las actividades de aprendizaje, y por último se analiza la relación que tienen los contenidos de biología evolutiva presentes en el libro con el Programa de estudios vigente.

Como parte de la Discusión, se reitera la importancia de que los LTG estén respaldados por una estructura conceptual sólida y debidamente estructurada, misma que deberá ser producto de una transposición didáctica adecuada y rigurosa. Asimismo, se hacen algunas sugerencias para la mejora de estos recursos didácticos.

Tras esta investigación, se evidencia que los contenidos de biología evolutiva de los LTG vigentes contienen omisiones, errores y sobre-simplificaciones conceptuales que pueden propiciar una comprensión del proceso evolutivo incompatible con el saber erudito y con lo estipulado como saber a enseñar. Se concluye, pues, que los materiales analizados no ofrecen una plataforma sólida, rigurosa y suficiente sobre la que docentes y estudiantes puedan edificar procesos de enseñanza y de aprendizaje acordes con el modelo científico que se pretende enseñar.

Dado que los Libros de Texto Gratuitos son en muchas aulas los únicos materiales educativos utilizados, estos deben proporcionar elementos conceptuales, gráficos y procedimentales que fomenten el desarrollo de un pensamiento evolutivo, lo que incentivaría que los estudiantes comprendan el mundo vivo y que desarrollen competencias para el aprendizaje permanente, para el manejo de la información y para la vida en sociedad, como se pretende en la Reforma Educativa.

Introducción

En el año 2009 se conmemoraron los 150 años de la publicación del libro *El origen de las especies*, de Charles Darwin. De manera independiente, en ese mismo año -llamado "El año de la evolución"-, se puso en marcha la tercera etapa de la Reforma Integral de la Educación Básica (RIEB), correspondiente al nivel primaria¹ (Garza y Morales, 2009:1). Los cambios más importantes que se realizaron en la RIEB fueron la vinculación del currículo con las Reformas en educación preescolar y secundaria y la implementación de un modelo educativo basado en competencias (SEP, 2011a:27-30).

En concordancia con dichas modificaciones, la Secretaría de Educación Pública editó nuevos Libros de Texto Gratuitos (LTG), y pidió a diversas instituciones que los dictaminaran. La UNAM participó en ese dictamen y por parte del Laboratorio de Estudios Filosóficos, Históricos y Sociales de la Facultad de Ciencias, la M. en C. Eréndira Álvarez Pérez, tutora de esta tesis, conformó un equipo de colaboradores para realizarlo. Se revisaron los materiales de Ciencias Naturales de quinto y sexto grado de primaria, y se concluyó que debían ser reformulados pues carecían de una estructura conceptual y didáctica que permitiera la enseñanza-aprendizaje de los contenidos del Programa de estudios y por lo tanto el alcance de los objetivos que planteaba la RIEB.

Tras la etapa de prueba de los LTG durante el ciclo escolar 2009-2010, la SEP realizó una nueva versión de éstos, que se distribuyó posteriormente (Guerra y López, 2011:447). En esta tesis se analizaron los materiales correspondientes a los LTG vigentes en el ciclo escolar 2012-2013.

¹ La primera etapa correspondió al nivel preescolar y entró en vigor en 2004, y la segunda al nivel secundaria, en 2006.

Se eligió para el análisis exclusivamente el tema de biología evolutiva ya que, como afirmó Dobzhansky, “nada en biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución” (Dobzhansky, 1973:125). De los modelos existentes que pretenden explicar la evolución biológica, la Teoría Sintética es el cuerpo de conocimientos académicos que ha sido designado por la comunidad científica como saber a enseñar y que, por lo tanto, se constituye como el objeto de interés de la Transposición Didáctica para su adecuación al contexto escolar. Como consecuencia, el análisis de los contenidos de biología evolutiva de los LTG se hizo desde un marco disciplinar correspondiente con la Teoría Sintética.

En un artículo publicado por Nadelson et al. (2009) se enfatiza la importancia de la enseñanza-aprendizaje del proceso de cambio evolutivo a estudiantes de primaria puesto que, desde edades tempranas, los estudiantes tienen gran capacidad de abstracción y comienzan a construir una percepción de la ciencia y a desarrollar concepciones que se arraigan en su estructura cognitiva. Por lo anterior, en esta tesis se destaca la importancia de que en los LTG se haga una adecuada presentación de la red conceptual que permitirá a los estudiantes comprender el proceso de evolución biológica, con el objetivo de que los estudiantes, además de comprender dicho proceso, desarrollen confianza sobre su capacidad de entender la ciencia (Fail, 2008:58).

Desde que se elaboró la primera edición de los LTG bajo el marco de la RIEB, diversos autores han señalado la importancia de analizar y reformular sus contenidos (Barriga, 2011; Garza y Morales, 2009; Guerra y López, 2011; Hernández, Flores y Echavarría, 2011; Vargas, 2011; Villa Lever, 2012). No obstante, en el transcurso de esta investigación no se encontró algún estudio que analizara de manera específica los contenidos de biología evolutiva en los LTG de Ciencias Naturales. Por esta razón, es que decidió realizarse esta tesis.

Dado que los LTG “llegan a todos los rincones del país, a las manos de millones de alumnos y de miles de docentes y tienen el potencial de influir fuertemente en los procesos de enseñanza y aprendizaje en las aulas” (Guerra y López, 2011:444), se considera de suma importancia que sean materiales educativos de alta calidad, con sólidos soportes disciplinares y didácticos, que favorezcan el desarrollo de competencias en los estudiantes y que, en el caso del estudio de la evolución biológica, les permita entender los procesos del mundo vivo.

Por esta razón, el análisis de los contenidos de biología evolutiva de estos materiales es respaldado por los fundamentos disciplinares (Capítulo I) y didácticos (Capítulo II) que permiten contestar la pregunta que guía esta investigación: **¿son los LTG recursos didácticos que fomentan en los estudiantes una adecuada comprensión de la biología evolutiva?** Así pues, en el Capítulo IV se presenta el análisis de estos recursos, tomando en cuenta el contexto educativo actual del país (Capítulo III).

Cabe mencionar que, a lo largo de esta tesis, se presentan elementos a través de los que el lector podrá sacar sus propias conclusiones, que podrán ser contrastadas con las que se presentan en la sección final de esta investigación.

Capítulo I. Fundamentos disciplinares

En el presente Capítulo se delimitará el marco disciplinar de biología evolutiva, con el fin de sentar las bases teóricas para el posterior análisis de los contenidos de los Libros de Texto Gratuitos en cuestión.

1.1 Teorías Evolutivas

Como todo ser vivo, el ser humano tiene la capacidad de percibir y establecer un vínculo de reconocimiento con aquello que le rodea. Es gracias a lo anterior que puede desempeñar actividades básicas que permitan el sustento de la vida, tales como alimentarse, reproducirse y reaccionar ante los peligros del entorno.

Además, el ser humano es capaz de cuestionarse acerca de lo que percibe y de elaborar explicaciones al respecto, e incluso puede desarrollar modelos narrativos de la sucesión de acontecimientos ocurridos en el pasado (Simón, 2000:17). Las interrogantes acerca del origen de la vida y de su evolución han sido constantes a lo largo de la historia de la humanidad (Maciel, 2005:8-24), así que desde tiempos remotos los seres humanos han podido desarrollar, con mayor o menor éxito y precisión, explicaciones acerca de su propia existencia y de los fenómenos del mundo del que forman parte. Algunas explicaciones atribuyen las causas a divinidades y a fenómenos sobrenaturales, mientras que otras lo atribuyen a fenómenos naturales (Valladares 2002:1-2).

Las hipótesis científicas que se han elaborado en torno a los fenómenos naturales han sido compiladas, debatidas y reformuladas ya que, a diferencia de los mitos, constantemente se recaban y reinterpretan datos que permiten su subsecuente modificación; dado lo anterior, podemos afirmar que la ciencia está en constante cambio (Valladares, 2002:1) y que con el paso del tiempo y la profundización en las investigaciones, los modelos y la teorías científicas se han modificado.

De acuerdo con la *concepción semántica de la ciencia*, las teorías científicas son conjuntos de **modelos**. Los modelos son abstracciones teóricas mediante los que se intenta explicar el mundo, y las **hipótesis** son enunciados a través de los que se vincula a los modelos que conforman una teoría con los sistemas reales que se pretende representar, no de manera exacta, sino con distintos grados de aproximación a la realidad. Se afirma que una hipótesis es verdadera cuando existe semejanza entre el modelo -o familia de modelos- y la realidad (G. Galli, 2011:663-664, basado en Giere, 1999). Como un mapa -abstracción- en el que se plasma un área geográfica -realidad- así, “la relación entre el mundo y la teoría no es directa, sino que está mediada por el modelo” (G. Galli, 2011:665).

Bajo la concepción semántica de la ciencia puede afirmarse que “la evolución es una teoría científica de gran poder explicativo, capaz de dar cuenta de un amplio rango de fenómenos”²

² Esta cita es el fragmento de una carta enviada por un grupo de personas -entre ellas Richard Dawkins- al entonces ministro de Gran Bretaña, Tony Blair, en 2004.

(Dawkins, 2009:4). La biología evolutiva parte de ciertos modelos que pretenden dar cuenta de la evolución biológica, y en la siguiente sección (1.1.2), se presentará la **Teoría Sintética de la Evolución** (o “Teoría Sintética”), misma que contiene el *modelo científico a enseñar* en la educación primaria.

1.1.2 La Teoría Sintética de la Evolución Biológica

Posterior a la etapa que Peter Bowler llamó “el eclipse del darwinismo” (G. Galli, 2011:9), durante las décadas de 1930 y 1940 científicos de varios países lograron llegar a un consenso acerca de la manera en la que se explica la evolución biológica que resulta en adaptaciones, y que –a pesar de las modificaciones de algunos de sus principios- hoy en día se considera como fundamentalmente válida (Futuyma, 2005:9) y continúa siendo el paradigma dominante y referente disciplinar (Hernández, M., Álvarez, E. y Ruiz, R., 2009:108). Por dicha razón, la Teoría Sintética se tomará en esta tesis como el modelo científico a enseñar.

Antecedentes

En *El Origen de las Especies* (1859) Darwin expuso su Teoría Evolutiva, que se regía por dos tesis principales: la descendencia con modificación y la selección natural. La primera se refiere a la existencia de uno o varios ancestros comunes para todas las formas de vida -actuales y extintas-, mismas que en un principio eran muy similares al ancestro común, pero que a lo largo de grandes periodos acumularon diferencias y fueron divergiendo cada vez más, de modo que algunas terminaron por ser muy distintas entre sí (Futuyma, 2005:7).

En cuanto a la selección natural³, Darwin la presenta como el agente causal del cambio evolutivo (Futuyma, 2005:7), mediante el que se eliminan las variaciones desfavorables y se conservan las favorables (Jiménez (Coord.), 2007:24). Planteó que debido a ella los organismos que presenten variaciones útiles tendrán más oportunidades de sobrevivir en la lucha por la vida, y dado el principio de la herencia, podrán heredar dichas variaciones a sus descendientes; por el contrario, los individuos que presenten variaciones que les desfavorezcan, tendrán menos oportunidades de sobrevivir (Futuyma, 2005:7).

El modelo darwiniano de evolución está basado en la variación aleatoria y la selección natural (Mayr, 2001:157), y es catalogada como una *teoría variacional* del cambio (Futuyma, 2005:7). No obstante, Darwin nunca logró explicar el origen de la variación (Futuyma, 2005:8; Mayr, 2005:205) ni logró construir una adecuada teoría de la herencia, y no fue sino a partir del redescubrimiento de los trabajos de Mendel⁴ en 1900, que se dieron a conocer los mecanismos por los que las variaciones se transmiten a la descendencia (Ruiz y Ayala, 2002:106-108).

³ Este concepto será revisado con mayor profundidad en la sección 1.1.2.1

⁴ Atribuido a de Vries, Correns y Tschermak (Ruiz y Ayala, 2002:106)

Darwin aceptaba como válida la herencia de caracteres adquiridos⁵ y consideraba que los rasgos se transmitían a la descendencia por *herencia mezclada*, dando como resultado descendientes que presentaban “un promedio de las características de sus progenitores”. Otros biólogos (como Jenkin, 1867) lo cuestionaban argumentando que, de ser así, las características heredadas se irían diluyendo con el paso de las generaciones hasta desaparecer⁶, y con ello también desaparecería la variación. Mendel⁷, en cambio, propuso que existe un tipo de herencia que “se transmite en unidades discretas que son disociables y combinables de manera matemáticamente predecible” y se le llamó *herencia particulada* (Ruiz y Ayala, 2002:106).

Luego del redescubrimiento de los postulados mendelianos, una gran cantidad de científicos centraron sus esfuerzos de investigación en el estudio de la herencia (Ruiz y Ayala, 2002:109). No obstante, como consecuencia de la incompatibilidad de modelos teóricos y de la falta de comunicación entre genetistas y naturalistas, el estudio del mundo vivo y la evolución biológica tenía dos perspectivas muy diferentes a principios del siglo XX: mientras que los primeros mendelianos (genetistas) afirmaban que la evolución es saltacional y que el motor son las presiones de mutación, los naturalistas ponían énfasis en que la evolución se trataba de un proceso gradual dirigido por la selección natural (Mayr, 1987:6-9)⁸. Esta controversia provocó una mayor escisión entre ambas escuelas.

⁵ Teoría según la que los individuos heredan a sus descendientes las características desarrolladas durante el ciclo de vida. Fue refutada completamente por Weismann en 1888 mediante un experimento en el que cortó la cola a 20 generaciones de ratones, y los descendientes seguían naciendo con cola (Ruiz y Ayala, 2002:108).

⁶ Como explica Dawkins (2009:29), si la herencia fuera *mezclada*, nuestras características serían *el promedio* de las características de nuestros padres.

⁷ Mendel postula que la herencia se da a través de **elementos particulados** (hoy llamados *genes*). Estos no se mezclan, sino que cada uno de los dos elementos alternativos de cada carácter se segregan durante la formación de los gametos y se pueden combinar con otros de manera independiente.

A partir de sus trabajos con hibridaciones –que Darwin no conoció–, Mendel (1866, 1869) postuló dos conclusiones, que hoy se conocen como “leyes de la herencia”:

1.- **Segregación independiente** Hay dos factores alternativos para cada carácter, que el descendiente recibe de cada progenitor.Cuál reciban de cada progenitor, depende del azar.

2.-**Combinación independiente** Cada par de factores heredados se hereda independientemente de cualquier otro par. La recombinación de los diferentes caracteres es al azar.

Algunas veces se añade otra ley, que es la de **dominancia y recesividad**, en la que se postula que hay factores que ocultan a otros, y éstos últimos se expresan cuando son homocigóticos (Ruiz y Ayala, 2002:108-109)

⁸ Una versión detallada sobre la construcción de la Teoría Sintética es presentada por Mayr (1987).

La Teoría Sintética

A pesar que desde los albores del siglo XX ya se conocían y habían definido la mayoría de los componentes que darían origen a la Teoría Sintética, había obstáculos que impedían una fusión entre las dos “tradiciones de investigación” (Mayr, 1987:41) que estudiaban la evolución biológica. Divergían en las causalidades en las que se basaban (próximas y últimas), en los distintos niveles de jerarquías evolutivas en las que se interesaban y en las dimensiones que estudiaban. Afirma Mayr (1987:42) que “lo que ocurrió entre 1937 y 1947 fue precisamente tal síntesis entre tradiciones de investigación que con anterioridad eran incapaces de comunicarse”.

El nombre de Teoría Sintética proviene del libro *Evolución, la Síntesis Moderna* escrito por Julian Huxley en 1942 (G. Galli, 2011; Mayr, 1987). De acuerdo con Mayr (1987:42), una síntesis es una fusión entre tradiciones, una amalgamación y no una predominancia de una sobre otra, un “intercambio de los componentes más viables de las tradiciones de investigación anteriormente en competencia”.

Durante el periodo ocurrido entre 1936 y 1947 (Mayr, 1987:2) fue que ocurrió dicha fusión a través de la construcción de puentes (Mayr 1987:42), es decir, la comunidad científica llegó a un consenso en el que se establecieron las bases de lo que hasta el día de hoy se considera “el núcleo de la biología evolutiva” (G. Galli, 2011:9).

Futuyma (2005:10-11) resume los postulados de la Teoría Sintética en los siguientes puntos:

- 1) Hay una distinción entre el fenotipo -el conjunto de rasgos observables del organismo- y el genotipo -el conjunto de genes contenido en el DNA del organismo-. Las diferencias fenotípicas entre individuos se deben en parte a diferencias genéticas y en parte a efectos directos del ambiente.
- 2) Se niega la herencia de los caracteres adquiridos, es decir, se considera que los cambios fenotípicos debidos a la influencia ambiental no afectan a los genes que el individuo transmite a la siguiente generación.
- 3) La **herencia es particulada**, es decir que se basa en partículas que mantienen su identidad a través de las generaciones. Esto sucede tanto en los rasgos de variación discreta como en los de variación continua. En este último caso, la herencia se basa en muchos genes particulados, que afectan “ligeramente” al rasgo.
- 4) Ocurren mutaciones que pueden afectar a los genes, dando lugar a formas igualmente estables llamadas alelos, cuyos efectos fenotípicos son muy variables. La **variación genética** surgida por **mutación** es amplificada por **recombinación** entre alelos en **loci** distintos.
- 5) El cambio evolutivo es un proceso **poblacional** que implica un cambio en la abundancia relativa (*frecuencia*) de organismos individuales con diferencias genotípicas que conforman una población.

- 6) Las tasas de mutación son demasiado bajas como para producir cambios fenotípicos a nivel poblacional; dichos cambios se deben a procesos azarosos (**deriva génica**) o no azarosos (**selección natural**). Ambos procesos pueden operar de manera simultánea.
- 7) La selección natural puede dar cuenta tanto de las grandes diferencias entre las especies como de las pequeñas, así como de las etapas tempranas de la evolución de un rasgo. Las **adaptaciones** son rasgos conformados mediante un proceso de selección natural.
- 8) La selección natural puede alterar las poblaciones más allá del rango original de variación al incrementar la frecuencia de alelos que, por recombinación con otros genes que afectan a un mismo rasgo, originan nuevos fenotipos.
- 9) Las poblaciones naturales son genéticamente variables, y por ello pueden evolucionar rápidamente cuando las condiciones ambientales cambian.
- 10) Poblaciones de una especie que habitan en diferentes regiones geográficas difieren en las características que tienen una base genética.
- 11) Las diferencias entre distintas especies y entre poblaciones de la misma especie, suelen basarse en diferencias en muchos genes, muchos de los cuales producen pequeños efectos fenotípicos. Esto apoya la hipótesis de que las diferencias entre especies han evolucionado de manera gradual (“a pasos pequeños”).
- 12) Las diferencias entre poblaciones de una especie suelen ser **adaptativas** y, por lo tanto, son consecuencia de la selección natural.
- 13) Especies diferentes representan diferentes acervos génicos⁹, esto es, las especies son grupos de individuos que potencialmente pueden aparearse y que no intercambian genes con otros grupos similares.
- 14) La **especiación** es el origen de dos o más especies a partir de un único ancestro común y ocurre usualmente por la diferenciación genética de poblaciones separadas geográficamente.
- 15) Los taxones superiores se originaron por una acumulación de pequeñas diferencias a lo largo del tiempo más que por un súbito origen mutacional de nuevos “tipos” drásticamente diferentes.
- 16) En el **registro fósil** existen grandes brechas entre organismos, y esto se debe a que aquél está incompleto. No obstante, dicho registro muestra numerosas gradaciones desde aparentes ancestros hasta sus posibles descendientes. Dado lo anterior, los principios que explican la evolución de poblaciones y de especies pueden ser extrapolados a la evolución de los taxones superiores.

Para Ruiz y Ayala (2002), los acuerdos más importantes de la síntesis son que las variaciones individuales surgen de manera **gradual y continua**, y son reconocidas como mutaciones que surgen “espontáneamente y sin dirección adaptativa”. Asimismo, sostienen que es la **selección natural** lo que da dirección al proceso evolutivo. La evolución es de carácter poblacional, y las

⁹ Para profundizar en el concepto de *acervo génico*, véase Dawkins (2009:28-37).

interacciones inter e intraespecíficas y con el ambiente físico, aunados a la mutación y la recombinación, son lo que dan cuenta de la diversidad biológica (2002:126).

En resumen, exceptuando la noción de herencia de caracteres adquiridos, los postulados de la Teoría Sintética van acorde con el pensamiento seleccionista de Darwin (Jiménez (Coord.), 2007:27) que, al fusionarse con los trabajos de algunos genetistas, sentaron las bases para lo que la comunidad científica avala hoy día como paradigma dominante de la biología evolutiva¹⁰ y que, de acuerdo con Hernández, Álvarez y Ruiz (2009) enmarca a la fuente de conocimientos validado por la ciencia y seleccionados para enseñarse en las aulas (2009:108) y en el libro de texto gratuito que en esta tesis se analizará.

1.1.2.1 Conceptos fundamentales

Labastida y Ruiz (2010:269) afirman que el evolucionismo representa el paradigma central y unificador de la biología, debido a que sus planteamientos constituyen el hilo conductor que vincula el estudio de los seres vivos, siendo los conceptos evolutivos fundamentales para comprender todos los aspectos inherentes a los organismos.

De acuerdo con la 23^a edición del Diccionario de la Lengua Española¹¹, un **concepto** es “una idea que concibe o forma el entendimiento”.

Desde la perspectiva clásica de la filosofía de la ciencia, la ciencia avanza a través de descubrimientos, de describir y explicar el mundo natural. Según el enfoque inductivista de Bacon, el científico observa y teoriza al mundo, experimenta y comprueba. A decir de Mayr (2005:41), “el pujante empirismo de la revolución científica hizo que se insistiera mucho en el descubrimiento de nuevos datos y, curiosamente, apenas se hablaba del importante papel que desempeña el desarrollo de nuevos conceptos en el avance de la ciencia”. Para la nueva filosofía de la ciencia, en cambio, hay una distinción epistemológica entre las ciencias físicas y las ciencias de la vida:

En biología, los conceptos tienen mucha más importancia que las leyes en la formación de teorías. Los dos factores principales que contribuyen a una nueva teoría en las ciencias de la vida son el descubrimiento de nuevos hechos (observaciones) y el desarrollo de nuevos conceptos (Mayr, 2005:81).

¹⁰Luego de 1960 surgieron el Neutralismo y el Equilibrio Puntuado: dos teorías en torno a la micro y a la macroevolución –respectivamente- que causaron polémica en algunos postulados de la Teoría Sintética y que, de acuerdo con Ruiz y Ayala (2002), sus cuestionamientos “merecen ser tomados en serio” (2002:148). Para profundizar en el tema, consultar a Ruiz y Ayala (2002:148-229).

Para conocer un análisis acerca de la posible inclusión de ciertos aspectos de estas teorías en la enseñanza, consultar a Folguera, G. y G. Galli, (2012:14).

¹¹<http://www.rae.es/rae.html> (Accesado en marzo de 2013)

Los conceptos también existen en las ciencias físicas, pero en ellas es mucho más importante el *descubrimiento* de nuevos hechos que los conceptos contruidos. Su importancia es tal, afirma Mayr, que “casi todos los avances recientes de las ciencias biológicas más complejas (ecología, biología del comportamiento, biología evolutiva) se deben al planteamiento de nuevos conceptos” (2005:81), y es precisamente en conceptos que suele basarse la elaboración de teorías (2005:82).

Retomando la definición del Diccionario de la Lengua Española, se puede afirmar que el entendimiento de la biología evolutiva está conformado por un marco conceptual delimitado, mismo que posibilita la transmisión de ideas y que eventualmente, de acuerdo con Revel (2010), a través de la enseñanza/aprendizaje de conceptos científicos podrá introducirse al alumno al lenguaje científico, factor que posibilitará que aquél hable ciencia, y hablar ciencia es “hacer ciencia a través del lenguaje” (2010:167). No se trata de limitar la enseñanza/aprendizaje de la ciencia a la memorización de conceptos, sino a delimitarlos de manera tal que se puedan comunicar y diferenciar de sus acepciones cotidianas, y que permitan enraizar un marco conceptual en los alumnos a través del que podrán, por ellos mismos, ser partícipes de la ciencia que se les está enseñando y así, hacer ciencia.

Conceptos fundamentales de Biología Evolutiva

Puesto que la teoría sintética es la “teoría biológica más integradora” (Ruiz, R. y Ayala, F., 2001:151) los conceptos de biología evolutiva que deben prevalecer en la actualidad en los programas de Ciencias Naturales para educación básica en nuestro país son los sustentados por dicha teoría. Los conceptos que a continuación se presentan son algunos de los que la teoría sintética considera fundamentales para la comprensión de los procesos evolutivos.

Los conceptos de la biología evolutiva se van entretejiendo hasta conformar una compleja red. Por lo anterior, si bien puede definirse cada concepto de manera individual, para realmente comprender su papel en la evolución biológica debe estar interrelacionado con los demás. Así, en cada uno de los conceptos que se delimitarán a continuación, se incluye de una u otra manera algunos otros, de forma que habrá que revisarlos todos para comprender el significado más amplio y los alcances explicativos que cada uno aporta a la teoría evolutiva.

Variación

En la teoría sintética se destaca a la selección natural como un proceso fundamental para la evolución biológica, y para que pueda ocurrir la selección natural¹², forzosamente debe haber variación.

La variación es un fenómeno conocido desde antes de las investigaciones de Charles Darwin (Hernández, 2011:23). No obstante, durante los siglos XVIII y XIX, muchos naturalistas vertieron su

¹² La selección natural será explicada más adelante en esta tesis.

atención en clasificar a los organismos con base en sus características en común, ignorando la importancia que la variación entre individuos tiene para el proceso evolutivo (Jiménez (Coord.), 2007:32). Fue Darwin quien le dio a la variación un enfoque como el que actualmente existe, refiriéndose a ésta como un proceso continuo y gradual que propicia que cada individuo sea único, y que opera en distintos niveles de organización (Hernández, 2011:18, 26-27).

Entender la evolución requiere de entender la variación y, de las disciplinas biológicas, la biología evolutiva es la que mayormente se aboca a comprenderla (Futuyma, 2005:189). Para la biología evolutiva la importancia de la variación radica en la unicidad de cada individuo, y una perspectiva amplia de la variación se refiere, como propone Hernández, a “la totalidad de diferencias entre los elementos de alguna entidad biológica a cualquier nivel” (Hernández, 2011: 20). Se reconocen tres tipos de variación: **fenotípica**, que se refiere a las variantes en la morfología que resultan de la interacción entre el genoma y el ambiente; **genotípica**, que apunta hacia las diferencias en las secuencias de DNA o en los cromosomas; y **geográfica**, que explica que las expresiones fenotípicas dependen del lugar en el que se desarrolla el organismo, tomando en cuenta que la expresión fenotípica depende de los genes, del ambiente y de la relación entre ambos (Jiménez (Coord.), 2007:35-36), es decir, el fenotipo es el resultado de la interacción genotipo-ambiente.

La variación es un fenómeno que se origina independiente a las necesidades de los organismos; Darwin, refiriéndose a los criadores de animales, escribió que el ser humano “no puede ni originar variedades ni impedir que ocurran; puede, sí, preservar y acumular las que ocurren”, y extrapola este fenómeno a lo que sucede en la naturaleza (Darwin, 1859:55). En la teoría sintética se retoma este postulado, afirmando que la variación no está dirigida por la naturaleza (Hernández, 2011:154) y resalta asimismo su carácter **aleatorio**, es decir que las variaciones no son intrínsecamente favorables o perjudiciales para el individuo sino que depende del ambiente en el que habita que resulten favorables para la supervivencia y la reproducción, de modo que si las condiciones ambientales cambian, quizá una variación que en algún momento le fue perjudicial, ahora le resulte ventajosa (Jiménez (Coord.), 2007:32-33)

Cuando Darwin escribió *El Origen de las especies* aún no se conocía el origen de las variaciones, sin embargo gracias a investigaciones posteriores de otros científicos, y de acuerdo con la teoría sintética, sabemos que dicho origen recae predominantemente en la **mutación** y la **recombinación**¹³, conceptos que serán revisados en seguida.

¹³ Actualmente se conocen otros procesos que dan origen a la variación genética y genómica, tales como la *transferencia horizontal de genes* (THG) y los llamados *elementos transponibles* (ET).

La THG se refiere a “la transmisión recíproca o no recíproca de información genética entre dos individuos con cualquier grado de parentesco evolutivo” (Hernández, 2011:69).

Los ET son secuencias de DNA o de RNA capaces de trasladarse de un sitio del genoma a otro dentro de la misma célula (Hernández, 2011:76).

Mutación

Desde la perspectiva de la teoría sintética, la mutación es una de las dos principales fuentes de variación –la otra es la recombinación– y se refiere a un cambio en el material genético que puede ocurrir tanto en las células somáticas como en las sexuales (Futuyma, 2005:165), tanto en organismos de reproducción sexual como en los que se reproducen de manera asexual (Mayr, 2001:101). A pesar de que el término *mutación* puede referirse tanto al proceso de cambio en el material genético como a su resultado¹⁴ (Futuyma, 2005:165), para evitar confusiones, Hernández (2011:44) opta por llamarle *mutación* al proceso y *variación génica* al resultado.

Una de las causas de la mutación es la duplicación de las moléculas hereditarias¹⁵, proceso en el que a partir de una cadena molde se obtiene una copia de la original; dicha copia puede no ser exactamente igual a la que le dio origen, dado que durante el proceso de duplicación pudo existir algún cambio en la información. La duplicación del DNA es un proceso que ocurre en todos los organismos vivos, por lo menos en algún porcentaje de sus células (Hernández, 2007:44). Futuyma (2005:162) afirma que “cada uno de nosotros nació con al menos 300 nuevas mutaciones que hacen nuestro DNA diferente del de nuestros padres”.

A pesar de que las mutaciones no son la causa de la evolución, sino el “combustible” que ocasiona su movimiento (Futuyma, 2005:162), de acuerdo con Jiménez (Coord.) (2007:41), las mutaciones que tienen lugar en las células sexuales son de gran importancia para el proceso evolutivo ya que, a diferencia de las ocurridas en las células somáticas, aquéllas podrán ser transmitidas a los descendientes. Si una mutación tiene un efecto a nivel fenotípico, entonces puede afectar a la supervivencia y/o a la reproducción del individuo (Futuyma, 2005:174), lo cual provocará que sea o no favorecido por la selección natural (Mayr, 2001:97).

Recombinación

A pesar de que todos los genes nuevos son producidos por mutación, la mayoría de la variación fenotípica en las poblaciones naturales que está disponible para la selección es producto de la recombinación (Mayr, 2001:98).

En esta tesis no se revisarán a profundidad estos dos procesos, no obstante, para abundar en la información acerca ellos, se sugiere consultar en Hernández (2011, Cap.2).

¹⁴ Como afirma Mayr (2001:98), existen tres tipos de mutación: benéfica, neutral y deletérea. El primer tipo será favorecido por la selección natural; el segundo no afectará la adecuación del fenotipo; y el tercero, eventualmente, será eliminado por selección natural. En su Teoría Neutral, Motoo Kimura (1983:34) afirma que la mayoría de cambios evolutivos a nivel molecular no se deben a una selección de tipo darwiniano, sino que son resultado de la deriva génica de individuos con mutaciones que tienen un efecto neutro en la selección natural de éste. En esta tesis no se ahondará en esa discusión, no obstante se recomienda el texto de Kimura, M. (1983).

¹⁵ Para conocer otras de las causas de la mutación, revisar los textos de Futuyma (2005:161-187) y de Mayr (2001:96-97).

El proceso de división celular mediante el que se forman los gametos se llama **meiosis**. En los organismos con reproducción sexual, durante una de las fases tempranas de la meiosis, los cromosomas homólogos se unen entre sí y se hace posible el intercambio de material genético entre ellos, resultando así un cromosoma con características distintas a los que le dieron origen. Posteriormente, cada uno de los cromosomas homólogos migran de manera aleatoria (Mayr, 2001:103-104), hacia una de las células que se volverá a dividir y formará un gameto (Labastida y Ruiz (Coords.), 2010:303), y cada progenitor contribuirá con uno de éstos al formarse el cigoto.

Así, la recombinación de los genotipos parentales ocurre por los dos procesos arriba expuestos. La consecuencia de ésta es la conformación de genotipos únicos en cada individuo, que a su vez contribuirán –junto con el ambiente- a la conformación de fenotipos únicos. La importancia de este proceso para la evolución, es que posibilita la existencia de una ilimitada variedad de nuevo material que estará sujeto a la selección natural (Mayr, 2001:104, 112). De hecho, afirma Mayr que “la recombinación en una población¹⁶ es la mayor fuente de variación fenotípica disponible para la selección natural efectiva” (2001:106) y ésta, junto con la unión de gametos genéticamente distintos –los que conforman al cigoto- son la fuente de variación en organismos eucariotas con reproducción sexual (Futuyma, 2005:179-180).

Con lo anterior, se puede afirmar que ambos procesos son fundamentales para que exista variación en los seres vivos, y que ni la recombinación ni la mutación son procesos dirigidos, sino que tienen un importante componente aleatorio lo cual, asimismo, permite afirmar que éstos no dependen de los requerimientos adaptativos del individuo.

Azar

Como se expuso en esta investigación, tanto las mutaciones como la recombinación -que ocasionan la variación- surgen independientemente de las necesidades de los organismos. Dado lo anterior, puede afirmarse que éstas no tienen un carácter intrínsecamente adaptativo sino que resultarán favorables, desfavorables o neutras en dependencia del ambiente en el que habite el organismo que las presente.

Futuyma señala la complejidad del concepto, y acota su significado científico como un sinónimo de aleatoriedad, definiéndolo como sigue: “cuando las causas físicas pueden derivar en alguno de muchos resultados, no podemos predecir qué resultado habrá en un caso particular” (2005:225). Es decir, hay fenómenos que involucran tantos factores, que no puede saberse con exactitud cuál será su resultado.

Es debido a los procesos de mutación y de recombinación que podrán existir variaciones heredables (Labastida y Ruiz (Coords.), 2010:271) cuyo resultado favorable, desfavorable o neutro en el ambiente en el que habita depende del azar. El azar es la *coincidencia de distintas cadenas causales*, a saber: el surgimiento de una **variación** y la **selección natural** que ocurrirá en un

¹⁶ En donde la reproducción sea al azar

individuo que habita en un determinado ambiente. Así pues, para que una variación resulte ser adaptativa, se requiere que en ese espacio-tiempo ésta sea favorecida por un proceso de selección natural debido a que contribuye con la supervivencia y reproducción diferencial del individuo.

Selección natural

La idea de la selección natural es una de las “ideas más importantes en la historia del pensamiento” (Futuyma, 2005:6) y fue publicada por Darwin y concebida de manera independiente por Wallace (Futuyma, 2005:8).

Luego de analizarla, concluye Mayr (2005:207) que

Hasta tiempos muy recientes, ni los propios evolucionistas se daban cuenta de lo radicalmente diferente que era la teoría de Darwin sobre la evolución por selección natural de las anteriores teorías esencialistas o teleológicas. Cuando Darwin publicó el *Origen*, no tenía ninguna prueba de la selección natural; elaboró su teoría sólo por inferencia. La teoría de Darwin se basaba en cinco hechos y tres inferencias (véase esquema)¹⁷. Los tres primeros hechos eran: la posibilidad de crecimiento exponencial de las poblaciones; la estabilidad observada en dichas poblaciones; y la limitación de recursos. De esto infirió que debía de existir competencia (lucha por la existencia) entre los individuos. Otros dos hechos, la constitución genética única de cada individuo y la heredabilidad de gran parte de la variación individual, conducían a la segunda inferencia, la supervivencia diferencial (es decir, la selección natural), y también a la tercera: que la continuación de este proceso a lo largo de muchas generaciones da como resultado la evolución.

Entonces, el proceso de cambio evolutivo es consecuencia no sólo de la existencia de variaciones heredables en cada individuo, sino de la acción de la selección natural sobre estas variaciones. Así, como los recursos son limitados, los individuos deberán competir por ellos y, dada la variación individual, no todos los individuos tendrán la misma probabilidad de obtenerlos. De esa manera, algunos individuos tendrán mayor probabilidad de sobrevivir y/o de reproducirse que otros. A esta supervivencia y reproducción diferencial se le llama **selección natural**. La primera demostración de la selección natural fue gracias a los trabajos de Bates (1862)¹⁸ acerca del mimetismo en mariposas, y a partir de entonces miles de evidencias no han dejado lugar a dudas acerca de la existencia de la selección en la naturaleza (Mayr, 2005:207), no obstante, transcurrieron muchos años antes de que la teoría de selección natural fuera ampliamente aceptada, y Mayr (2005:114) afirma incluso que se aceptó de manera generalizada hasta la conformación de la teoría sintética.

La selección natural es un proceso fundamental para la evolución. Para que una población evolucione por selección natural, se deben cumplir tres requisitos indispensables, de acuerdo con Labastida y Ruiz (Coords.) (2010:304):

1. Que existan diferencias fenotípicas entre los individuos (principio de variación individual).

¹⁷ En esta tesis, dicho esquema se localiza en el **Anexo 1**.

¹⁸ Citado en Mayr, 2005:114.

2. Que las diferencias entre los individuos sean heredables, es decir, que pasen de progenitores a descendientes
3. Que debido a sus diferencias fenotípicas, algunos individuos sean, en promedio, mejores para sobrevivir y dejar descendencia.

Los dos primeros requisitos, entonces, se refieren a la variación heredable mientras que el tercero apunta directamente hacia la supervivencia y reproducción diferencial.

El término *diferencial* implica que no todos los individuos tienen la misma capacidad de sobrevivir ni de reproducirse, y esto ocurre debido a que no existen individuos idénticos, sino que tienen atributos distintos y que debido a éstos serán favorecidos o eliminados por la selección natural. Por eso, se dice que sin variación (la unicidad de cada individuo) no podría haber selección natural. Debido a esta íntima relación entre la variación y la selección, es que Hernández et al. (2009:111) optan por incluir a ambos en el nombre, llamándole el “proceso evolutivo por variación y selección natural”.

Si un individuo presenta una variación heredable que le resulte más favorable para sobrevivir y reproducirse que otros individuos con características menos ventajosas, entonces [a lo largo de las generaciones] los caracteres generales de la especie se modificarán (Futuyma, 2005:6). En otras palabras, cambiarán las proporciones de los diferentes tipos de individuos (Futuyma, 2005:8) y es así como, a través del tiempo, las poblaciones irán cambiando y nuevas especies se conformarán¹⁹. Así, se evidencia que la selección no es solamente una fuerza eliminadora, sino una fuerza creativa también.

Darwin planteó que la selección natural sucede en un nivel exclusivamente orgánico²⁰ (Gould, 2004:151-160), es decir que la entidad sujeta a selección es el individuo. Sin embargo, de acuerdo con Gould actualmente existe un debate²¹ al respecto, y hay quienes defienden que el proceso de selección natural ocurre “a múltiples niveles” (Gould, 2004:162).

Adaptación²²

De acuerdo con Mayr, si bien no existe duda de la importancia del proceso de selección natural en el proceso evolutivo, es fundamental saber qué tanto contribuyó éste en la existencia de cada carácter que presenta un fenotipo, es decir, si la emergencia de dicho carácter estuvo influida -y en qué grado- por la selección natural. A esto, Mayr le llama *programa adaptativo* (Mayr, 2005:209), al que define como la investigación en torno al valor adaptativo de algún rasgo o atributo (Mayr, 2001:283).

¹⁹ Los conceptos de *especie* y *especiación* se revisarán más adelante.

²⁰ Con excepción de la selección tribal que puede existir en la especie humana (Gould, 2004:160)

²¹ En esta tesis no se profundizará en este tema. No obstante, existe mucha información al respecto que puede ser de gran ayuda en su comprensión. Un buen ejemplo son las publicaciones de Gould (2004) y Mayr (2005).

²² Si bien el concepto de *adaptación* es sumamente complejo, e incluso hay desacuerdo en algunas precisiones (G. Galli, 2011:66-68), en esta investigación se acotará como sigue.

Entonces, la pregunta importante es ¿cuándo se puede decir que un rasgo es una adaptación²³? De acuerdo con Labastida y Ruiz (Coords.) (2010:318-319) para responderla, se debe comprobar si tiene incidencia o no en la supervivencia y la reproducción diferencial de los portadores. “En términos generales la adaptación incrementa el éxito reproductivo de los organismos en un ambiente específico, y es resultado de la selección natural” (2010:319). En otras palabras, una **adaptación** es una propiedad o atributo de un organismo cuya posesión favorece que el portador sobreviva y se reproduzca, y dicho atributo ha sido favorecido por un proceso de selección natural (Futuyma, 2005:265; Mayr, 2001:149).

No obstante, también se le llama adaptación al proceso gradual mediante el que dicho atributo fue adquirido. Es fundamental resaltar que el proceso de adaptación es **estrictamente pasivo** -es decir que no es teleológico- en tanto que los individuos no intervienen de manera volitiva en su mejora (Mayr, 2001:150,155), sino que es un proceso que resulta de la variación y la selección natural y forma parte de la evolución.

El proceso de adaptación, además, está “modulado por las condiciones del ambiente” (Labastida y Ruiz (Coords.), 2010:319), es decir, no todas las variaciones tienen un papel adaptativo, ya que no influyen directamente en la supervivencia ni en la reproducción del individuo que las posee; se les considera, entonces, neutras. No obstante, si hay algún cambio ambiental, algunas de esas características neutras pueden resultar ventajosas o desfavorables y esto es una muestra de “la idea de contingencia en el proceso evolutivo” (Jiménez (Coord.), 2007:35). El argumento anterior es contrario a la postura que afirma que las variaciones son intrínsecamente adaptativas²⁴ y por lo tanto a una percepción teleológica de la selección natural, la adaptación y la evolución en general.

Población

De acuerdo con Jiménez (Coord.) (2007:34), la **población** es un “conjunto de individuos de la misma especie que ocupan un espacio en el mismo tiempo”, que influye y a la vez es influida por el ambiente en el que habita (Ruiz y Ayala, 2002:131). Los individuos que conforman una población son todos distintos entre sí, es decir que dentro de las poblaciones persiste la variación individual, y esta puede ser heredable (Hernández, 2011:25). Al ser único, cada individuo tiene distintos rasgos que pueden aumentar su probabilidad de sobrevivir y/o reproducirse y de acceder a los recursos del ambiente que, como señaló Malthus, son limitados (Mayr, 2005:208).

Darwin leyó el trabajo de Malthus *Sobre la población*, y a partir de esto construyó su primera inferencia²⁵: hay una lucha por la existencia entre los individuos, inferencia que se sigue de la manera exponencial en que las poblaciones crecen y que los recursos existen de manera limitada, por lo que los organismos tendrán que competir para conseguirlos (Hernández, 2002:49-51).

²³ Se recomienda la lectura de G. Galli (2011:66-68) para conocer parte de la discusión al respecto.

²⁴ Argumento sostenido por Lamarck. En cambio, Darwin sostuvo la idea de la adaptación no perfecta, sino diferencial (Ruiz y Ayala, 2002:48-49), que se mantiene vigente en la Teoría Sintética.

²⁵ Anexo 1

De acuerdo con Mayr (1992), fue gracias a que Darwin desarrolló un pensamiento de tipo **poblacional**²⁶ que pudo llevar la inferencia malthusiana al terreno evolutivo (Citado en Hernández, 2002:49-51), puesto que sólo si se reconoce que existen diferencias entre los individuos de una población, tiene sentido hablar de selección natural²⁷ (Mayr, 1987:31) y de competencia entre los individuos (Hernández, 2002:51).

Para desarrollar un pensamiento poblacional, es indispensable tomar en cuenta a la variación individual y asumir que, como plantean Labastida y Ruiz (Coords.), no son los individuos de una población los que evolucionan, sino que “los cambios en la composición fenotípica y genética ocurren en el nivel de la población, por tanto, a ésta se le considera la unidad de la evolución”²⁸ (2010:304). Asimismo, Labastida y Ruiz (Coords.) (2010:304) afirman que en una población podrá haber evolución por selección natural siempre y cuando exista en sus integrantes variación heredable²⁹, misma que posibilitará un cambio en las frecuencias fenotípicas y genotípicas en la población; dicha variación puede incidir en la supervivencia y reproducción diferencial de los individuos, sobre los que actuará la selección natural.

Así, puede afirmarse que para desarrollar un pensamiento evolutivo, es fundamental que se piense de manera poblacional.

Especie

Existen varias definiciones para el concepto de especie, no obstante, de acuerdo con Futuyma (2005:354), ninguna de esas definiciones³⁰ abarca por completo a todos los contextos en los que el concepto se puede usar.

A pesar de que esta investigación es de biología evolutiva, el concepto de especie que se usará es el biológico, y no el evolutivo. La razón radica en que aquél “es el más frecuentemente usado

²⁶ Opuesto al *pensamiento tipológico*, que sostiene que en el mundo existe una cantidad limitada de entidades y que cada una tiene una esencia (*tipo*) única, que se diferencia completamente de las demás. Así, en el *pensamiento tipológico* se afirma que las esencias son reales y que las variaciones que existen entre los individuos son irrelevantes (Mayr, 2004:88).

²⁷ Afirma Mayr (1987:31) que “a menos que se adopte un pensamiento poblacionista [sic] y se considere a cada individuo como portador de un genotipo totalmente único, la selección natural no tiene mucho sentido”.

²⁸ En la tesis darwiniana de *cambio poblacional*, se afirma que “la evolución ocurre por cambios en las *proporciones* de los individuos de una población que tienen características heredadas distintas” (Futuyma, 2005:8).

²⁹ Si no hubiera variación heredable, las diferencias fenotípicas que un individuo tiene, dejarían de estar presentes en la población cuando éste muriera. En cambio, al heredarse, sus descendientes pueden seguir presentándolas.

³⁰ El resto de las definiciones del concepto de especie, pueden encontrarse en Futuyma (2005:354).

entre los biólogos evolucionistas que están interesados en el proceso de la evolución” (Futuyma, 2005:355).

Las raíces del concepto biológico de especie parten de la observación de que existen organismos de la misma especie que pueden ser muy distintos en su morfología. Sin embargo, gracias a los estudios de la variación se sabe que no basta con clasificar a las especies con base en sus diferencias y similitudes morfológicas, ya que la gama de variaciones entre coespecíficos³¹ puede ser amplia. Entonces se toman en cuenta, para comprobar que son o no de la misma especie, aspectos genéticos, ecológicos, de comportamiento y cromosómicos, entre otros (Futuyma, 2005:355-356).

Con base en un pensamiento poblacional (Mayr, 1987:34), el concepto biológico de especie fue construido por Mayr en 1942. En éste se define a las **especies** como “grupos de poblaciones³² que, al menos potencialmente, se pueden entrecruzar, y que están aisladas reproductivamente de otros grupos” (Futuyma, 2005:355). El concepto de aislamiento reproductivo se refiere a situaciones en que el intercambio genético es muy restringido³³, y puede o no incluir mortalidad o esterilidad de los híbridos (Futuyma, 2005:355).

En términos evolutivos, el núcleo del concepto biológico de especie radica en la noción de que si existe una barrera intrínseca para el intercambio de genes entre dos poblaciones, entonces éstas podrán evolucionar de manera independiente, aunque habiten en la misma área geográfica (Futuyma, 2005:358). Dichas barreras forman parte de los mecanismos de aislamiento reproductivo³⁴, que se refieren a “dispositivos”³⁵ que impiden la cruce entre especies distintas, es decir, la hibridación (Ruiz y Ayala, 2002:132).

Los mecanismos de aislamiento reproductivo se clasifican en precigóticos y postcigóticos. Dentro del primer grupo se encuentran los dispositivos que evitan la fecundación y la formación del cigoto, mientras que en el segundo se incluye a aquellos que reducen o eliminan la probabilidad de que el embrión se desarrolle (Ruiz y Ayala, 2002:132). Estos mecanismos permitirán que se mantenga el aislamiento incluso cuando no exista una barrera física que divida a los grupos, y es por ello que en el origen de dichos mecanismos radica la especiación (Mayr, 1987:33).

Especiación

Se puede afirmar que las especies que habitan el planeta descienden de especies que lo poblaron en el pasado, y el estudio de estas relaciones se denomina **filogenia**. Diversas disciplinas han contribuido para reconstruir las filogenias de las especies. A nivel molecular, por ejemplo, se

³¹ Individuos de la misma especie

³² Cabe mencionar que el concepto biológico de especie está limitado a los organismos de reproducción sexual (Futuyma, 2005:357).

³³ Es decir, que hay posibilidad de cruces interespecíficas sólo bajo ciertas condiciones (Futuyma, 2005:357)

³⁴ De acuerdo con Mayr (1987:35), “el principal atributo intrínseco que caracteriza a una especie es la serie de mecanismos de aislamiento que la mantiene distinta a otras especies”.

³⁵ Cabe mencionar que en estos *dispositivos* no se incluye al aislamiento geográfico (Ruiz y Ayala, 2002:132).

determina qué tan lejana o cercana es la relación entre dos especies con base en el análisis de sus secuencias de DNA, y la cantidad de divergencias que se encuentren entre ellas será proporcional a la lejanía/cercanía de su relación filogenética (Jiménez (Coord.), 2007:55-56).

La **especiación** se refiere al origen de nuevas especies y se compone de dos procesos: el surgimiento de “diferencias genéticas entre poblaciones de la misma especie”, y la “diferenciación fenotípica entre ellas”. Para que haya especiación, se requieren de barreras reproductivas intrapoblacionales. Para explicar la especiación, se han construido varios modelos, que se diferencian entre sí según las circunstancias geográficas que dan lugar a las barreras reproductivas (Jiménez (Coord.), 2007:56). Si una especie se diferencia de otra por las barreras reproductivas que las aíslan, entonces la cuestión de cómo surgen dichas barreras es fundamental para comprender la especiación (Futuyma, 2005:379).

Ruiz y Ayala (2002:141) acotan que la especiación puede ser gradual o instantánea³⁶ y la diferencia entre los distintos modelos reside en las condiciones ecológicas bajo las que se conforman las barreras reproductivas. En esta sección se expondrán únicamente los tres principales modelos de especiación³⁷.

Dependiendo del flujo génico que permitan las barreras geográficas, el tipo de especiación se clasifica en tres:

Especiación alopátrica: También llamada especiación geográfica, es un proceso gradual (Mayr, 2001:178, 190) que ocurre cuando existe una barrera física que separa a dos poblaciones, misma que favorecerá que ambas poblaciones diverjan entre sí y evolucionen de manera independiente. Si esta separación dura un tiempo suficiente, si los mecanismos de aislamiento estaban muy desarrollados fungirán como barreras reproductivas y entonces, eventualmente, se conformarán como dos especies distintas (Ruiz y Ayala, 2002:143-145). La especiación **peripátrica** es una forma de especiación alopátrica, y ocurre cuando en un mismo territorio, un pequeño número de integrantes de la población (“población fundadora”) se aísla hacia la periferia de éste. La población fundadora portará sólo un pequeño porcentaje del acervo genético de la población original (Mayr, 2001:180) y por lo tanto las frecuencias alélicas serán distintas con respecto a las de la población original³⁸, fenómeno conocido como *efecto fundador* (Futuyma, 2002:389) Por lo anterior, y también debido a la endogamia, habrá una importante pérdida de variación genética.

³⁶ La especiación instantánea ocurre cuando, de una generación a la siguiente, hay una multiplicación del material cromosómico (*ploidía*), de manera tal que la generación en la que ocurre la multiplicación, ya no puede reproducirse con la que le dio origen. Esto sucede, sobretodo, en plantas (Ruiz y Ayala, 2002:141).

³⁷ Para profundizar en la información acerca de estos y otros modelos, se recomienda la obra de Futuyma (2005:379-404).

³⁸ La *deriva génica* es un proceso en el que las frecuencias de alelos fluctúan de manera aleatoria. La deriva génica reduce la variación genética y provoca que ulteriormente se fije uno de los alelos y se pierdan los otros, a menos que este proceso se contrarreste por flujo génico o mutación. (Futuyma, 2005:244, 389). Asimismo, de acuerdo con la Teoría Neutral de la Evolución Molecular, la deriva génica es la principal causa de la evolución de secuencias de DNA (Futuyma, 2005:11).

Especiación **simpátrica**: Ocurre cuando el flujo génico entre dos poblaciones de la misma especie se interrumpe, a pesar de que no haya una barrera física entre ellas y habiten en el mismo territorio (Ruiz y Ayala, 2002:142) Este modelo ha sido muy controversial (Futuyma, 2005; Ruiz y Ayala, 2002), ya que desde la perspectiva genética, habría la tendencia a mantener las frecuencias de genotipos intermedios (Futuyma, 2005:393), que representarían un puente genético entre ambas poblaciones y dificultaría el proceso de especiación. De acuerdo con Mayr (2001:180), no hay un solo caso en el que se haya demostrado que este tipo de especiación ocurra en la naturaleza.

Especiación **parapátrica**: Puede ocurrir en poblaciones que ocupan regiones adyacentes entre las que no hay barreras físicas, pero sí diferentes presiones de selección. Como consecuencia, lo que disminuye la probabilidad del flujo génico no son barreras extrínsecas, sino la divergencia de caracteres para ciertos rasgos, que resulta en el apareamiento no aleatorio entre los individuos de dichas poblaciones (Futuyma, 2005:392-393).

En los procesos de especiación, están involucradas tanto la selección natural como la deriva génica (Futuyma, 2005:380). Por lo anterior, se puede afirmar que selección natural y la deriva génica son las principales causas del cambio evolutivo en las poblaciones. La diferencia entre ellas es que la primera resulta en adaptación y la segunda no; no obstante, la deriva génica es la responsable de mucha de la diferenciación entre secuencias de DNA entre especies (Futuyma, 2005:226) que, como se expuso al principio de esta sección permitirá determinar la relación filogenética que existe entre las especies.

Extinción

De acuerdo con Futuyma, “en la especiación reside el origen de la diversidad [biológica]” (Futuyma, 2005:353) y la diversidad, cabe acotar, se ha originado por el proceso de cambio evolutivo. Si la especiación se refiere al origen de nuevas especies a partir de las preexistentes, entonces se puede afirmar que la *unidad básica* de la diversidad biológica es la especie (Jiménez (Coord.), 2007:55). Y así como surgen las especies, también pueden dejar de existir. Al cese de la existencia de una especie, se le llama **extinción**.

Una gran cantidad de las especies que han existido están extintas, y sin embargo no se conocen en su totalidad las causas precisas que provocaron sus extinciones. Estudios ecológicos sugieren, no obstante, que la mayoría de las extinciones se han debido a cambios radicales en el hábitat, por ejemplo la introducción de algún depredador, enfermedades, competidores y destrucción del hábitat (Futuyma, 2005:146).

Asimismo, se sabe que -en general- la causa de extinción se debe a que el proceso de cambio ambiental en el hábitat fue más rápido que la tasa de evolución³⁹ de un carácter (Futuyma, 2005:146). Para entender esto, se debe tener en cuenta el hecho de que el genotipo tiene una

³⁹ La tasa de evolución depende, a saber, de dos factores: la tasa de mutación y el tamaño poblacional. Ambos factores están correlacionados de manera inversamente proporcional (Futuyma, 2005:146).

capacidad de cambio limitada, y que esa limitación puede provocar que no haya un cambio en él cuando hay modificaciones drásticas en el ambiente (Mayr, 2001:199).

Más aun, aunque exista un cambio en el genotipo, nada asegura que dicho cambio será adaptativo. Esto es un argumento muy poderoso contra la visión teleológica de la evolución, ya que si los cambios en las especies tuvieran un objetivo -por ejemplo, la ocurrencia de un cambio en el genotipo o en el fenotipo *para* poder sobrevivir a un cambio drástico en el ambiente-, entonces los cambios ambientales drásticos no serían un factor que causara la extinción.

Ancestro común

Mayr (1982) señala que una de las teorías centrales de Darwin se refiere a la descendencia común de los organismos vivos. La *descendencia común*

...es una visión de la evolución radicalmente distinta al esquema propuesto por Lamarck⁴⁰. Darwin fue el primero en argumentar que las especies han divergido de ancestros comunes y que toda la vida puede ser retratada como un gran árbol familiar⁴¹ (Mayr, 1982. Citado en Futuyma, 2005:8).

La noción central del concepto de **ancestro común**, plantea que las especies no surgieron –ni fueron creadas–de manera independiente, sino que se derivan de una especie preexistente, de la que divergieron por un proceso de evolución gradual a lo largo del tiempo geológico. Las características que tienen en común distintas especies se deben a que estas fueron heredadas de la especie en la que surgieron por primera vez. Darwin planteó que estos eventos de especiación y divergencia se han repetido una y otra vez a lo largo del tiempo, y que la diversidad biológica (actual y extinta) proviene, quizás, de un sólo ancestro común (Futuyma, 2005:19-20).

Esta teoría aporta una explicación a las similitudes que existen entre diversos grupos de organismos (Mayr, 2001:22). Asimismo, posibilita representar el grado de cercanía o lejanía con las que las especies están emparentadas a través de *árboles filogenéticos*, en los que cada punto de ramificación simboliza la división de una especie ancestral en dos nuevos linajes (Futuyma, 2005:20,40), y así, dar cuenta gráficamente de la especiación y de la ancestría común de los distintos linajes.

La teoría del ancestro común está apoyada por una gran cantidad de evidencias⁴²; una de ellas es el registro fósil, a través del que se ha podido sustentar la existencia de especies que habitaron la Tierra en el pasado, y también ha posibilitado la detección y comparación de características morfológicas que permiten inferir que las especies recientes derivan de un ancestro común (Mayr, 2001:22). No obstante, tal como afirma Dawkins (2009:25), “las especies modernas no evolucionan en otras especies modernas, sino que simplemente comparten ancestros”.

⁴⁰ En la teoría Lamarckiana se plantea que cada especie surgió de manera independiente por generación espontánea, y que con el curso de la evolución los descendientes se volvieron “cada vez más complejos y más perfectos” (Mayr, 2001:19).

⁴¹ También llamado árbol filogenético (Futuyma, 2005:21).

⁴² En su libro *The greatest show on Earth*, Dawkins (2009) explica a profundidad las distintas evidencias que permiten aseverar que el cambio evolutivo es un hecho.

Si bien es cierto que hay procesos evolutivos que ocurren en tiempos relativamente cortos (como la especiación instantánea), cuando se habla de procesos macroevolutivos en general se debe ampliar la escala de tiempo utilizada. Para comprender la noción de ancestro común, es necesario entender que el proceso evolutivo ha ocurrido a lo largo de miles de millones de años, y que por lo tanto, como afirman McVaugh, Birchfield, Lucero y Petrosino (2011:286-292), el *tiempo profundo*⁴³ es un concepto fundamental para entender los conceptos relativos a la evolución biológica.

En conclusión, la evolución biológica se define como el “cambio en las propiedades de los grupos de organismos en el transcurso de generaciones” (Futuyma, 2005:2), y la Biología evolutiva es la disciplina encargada de estudiarla. Desde la perspectiva de la Teoría Sintética, la existencia de dicho cambio tiene como prerequisite indispensable la presencia de variación heredable en los individuos, misma que surge por procesos de mutación y recombinación. Al ser todos distintos entre sí, los organismos que conforman una población tendrán distintas probabilidades de sobrevivir y/o de reproducirse, por lo que la composición genotípica y fenotípica de dicha población se podrá modificar a lo largo de generaciones, lo que da como resultado la divergencia de las poblaciones con respecto al tipo original. Así, pueden originarse mecanismos de aislamiento reproductivo entre poblaciones que, junto con la influencia del ambiente, permitirán que existan eventos de especiación. A través del estudio de las especies, se podrá reconstruir la relación filogenética que existe entre las especies actuales y las extintas, bajo el entendido de que todas descienden de un ancestro común. Es así como el proceso de evolución biológica da cuenta de la gran diversidad de seres vivos que existen y han existido en la Tierra, así como de sus adaptaciones.

A lo largo de este capítulo se presentaron los conceptos fundamentales que permiten entender la biología evolutiva desde la perspectiva de la Teoría Sintética y que en esta investigación sienta los fundamentos disciplinares con base en los que se analizarán los LTG. Son muchos los conceptos que conforman la red en la que se entreteteje la biología evolutiva y dichas abstracciones se han ido desarrollando a lo largo de la historia y no se consideran terminadas, sino que están en constante revisión por parte de las comunidades científicas. De acuerdo con Novak (1978:10), los conceptos biológicos sirven para “organizar los hechos conocidos y para permitir una comprensión de la forma en que funcionan los sistemas vivientes”. Como consecuencia, será importante que los procesos de enseñanza-aprendizaje dentro del aula sean, asimismo, fundamentados en conceptos.

Capítulo II. Fundamentos didácticos

Uno de los objetivos de esta tesis consiste en delimitar un marco teórico que permita sustentar el análisis de contenidos de biología evolutiva en los Libros de Texto Gratuitos y, como parte de este objetivo, en el **Capítulo I** se desarrollaron algunos de los conceptos fundamentales que desde la

⁴³ Término que en esta investigación será referido como “tiempo geológico”.

perspectiva sintética entretejen las explicaciones que dan cuenta del cambio evolutivo. A manera de fundamento didáctico que sustente al análisis, en este segundo capítulo se hará una síntesis del concepto de *Transposición Didáctica* y de su relevancia para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la biología evolutiva.

2.1 Transposición Didáctica

De acuerdo con la **Teoría de la Transposición Didáctica** desarrollada por Chevallard⁴⁴, el conocimiento producido por los investigadores de una disciplina (llamado “*saber sabio*” o “*saber erudito*”) debe transitar por un proceso de transformación que posibilite su enseñanza-aprendizaje fuera del contexto de la esfera académica de los científicos (Chevallard, 1989:58). En este capítulo se presenta a la transposición didáctica como un medio de transformación *indispensable*, en tanto que permite adecuar los saberes de biología evolutiva y posibilita su enseñanza-aprendizaje en el ámbito escolar.

En el proceso de enseñanza-aprendizaje hay tres objetos que conforman lo que Chevallard llama la “relación didáctica”: los docentes, los estudiantes y el conocimiento (Chevallard, 1989:54). Este último debe ser sometido a una transposición que lo reconstruya y lo vuelva apto para ser enseñado (Astolfi, 2001:191), proceso que comienza a partir de que un conjunto de saberes es designado y legitimado por la sociedad⁴⁵ como *saber a enseñar* (Chevallard, 1989:58).

“El primer paso para establecer un cuerpo de conocimientos como uno que podrá ser enseñado consiste en constituirlo como un cuerpo de conocimientos, es decir, un todo organizado y más o menos integrado” (Chevallard, 1989:57). En términos generales, dichos cuerpos de conocimiento preexisten al contexto escolar en el que serán enseñados y aprendidos o, como afirma Chevallard, “los cuerpos de conocimiento que son enseñados derivan de los correspondientes cuerpos de *conocimiento académico*”, es decir, del saber sabio (Chevallard, 1989:57). Así, es posible afirmar que la biología evolutiva que se enseña en las aulas es resultado de la transposición didáctica de la biología evolutiva construida por los biólogos evolutivos⁴⁶.

⁴⁴ El concepto de *transposición didáctica* fue acuñado originalmente por el sociólogo Michel Verret en 1975 (Astolfi, 2001:189).

⁴⁵ En ese sentido, Chevallard hace referencia a “la sociedad como un todo” (1989:55) pero, dentro de ese conjunto, los actores que definen cuál será el saber a enseñar quedan ambiguamente señalados. Cardelli (2004:52) apunta, sin embargo, que en ese contexto el término *sociedad* se refiere a las clases dominantes, que en la selección del saber a enseñar proyectan sus intereses particulares. Independientemente de los intereses implicados en la selección del saber a enseñar, para el contexto de esta investigación cabe señalar que los actores sociales que lo seleccionan y delimitan, son aquellos encargados de elaborar los Planes y Programas para la Educación Básica.

⁴⁶ Chevallard, haciendo referencia al saber sabio en el campo de las matemáticas, lo llamaba “matemáticas de los matemáticos” (Chevallard, 1989:57)

2.1.2 Transposición didáctica de la biología evolutiva

Con la Teoría Sintética como paradigma dominante, las explicaciones científicas de la evolución biológica se constituyeron como el conjunto de teorías unificadoras más importantes de la biología. Con la teoría sintética, la diversidad de los organismos, las semejanzas y las diferencias entre sus distintas clases, las pautas de distribución y comportamiento, las interacciones y las adaptaciones tuvieron un principio de estructuración (Hernández et al., 2009:108).

Actualmente, la teoría sintética es el cuerpo de conocimientos académicos que ha sido designado por la comunidad científica como saber a enseñar y que, por lo tanto, se constituye como el objeto de interés de la transposición didáctica para su adecuación al contexto escolar⁴⁷.

De acuerdo con Astolfi, la transposición didáctica implica una “modificación epistemológica del marco conceptual original” (2001:190) y es un proceso que puede dividirse en dos fases: la primera comprende la transformación de un *saber sabio* en un *saber a enseñar* -transposición externa- y la segunda consiste en generar las herramientas necesarias para que el saber a enseñar se convierta, de hecho, en un *saber enseñado* –transposición interna- (2001:191).

En esta tesis se hará un análisis de la transposición externa, dado que de ésta resulta la elaboración de los manuales en los que se plasman los conocimientos que han sido seleccionados como *saber a enseñar*. La pertinencia de este análisis radica en que “desde la perspectiva de la investigación en didáctica de ciencias, el análisis de libros de texto es fundamental porque la utilización de los mismos en las escuelas e institutos es mayoritaria y los profesores las siguen puntualmente” (Ibarra, J.y Gil, M., 2005:346).

El saber sabio no puede presentarse en los libros de texto tal como se presenta en la esfera académica de los científicos, ya que estaría descontextualizado (Chevallard, 1989:58). Si bien la transposición didáctica de algunos procesos biológicos “encuentra una primera dificultad en la complejidad de los conceptos científicos que se manejan para explicarla y en las complicadas interrelaciones entre los mismos” (Ibarra y Gil, 2005:352), es fundamental que exista una adecuada transposición didáctica en los libros de texto, ya que son una herramienta recurrente en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Pese al papel protagónico que juegan los libros de texto en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se ha encontrado que no siempre existe una adecuada transposición en los contenidos, resultando esta en simplificaciones excesivas de los conceptos que se presentan e incluso en un gran distanciamiento entre el saber sabio y el saber a enseñar (Ibarra y Gil, 2005:346,352).

⁴⁷ Folguera y Galli (2012:14) reconocen la importancia de que haya una actualización del saber a enseñar en biología evolutiva. No obstante, también reconocen la dificultad que existe en torno a ello dada la ausencia de una transposición didáctica adecuada de los modelos más recientes de biología evolutiva.

Por lo anterior, se puede afirmar que la organización de un cuerpo de conocimientos de la biología evolutiva y la identificación de sus conceptos nodales, así como la subsecuente transposición didáctica efectiva son fundamentales para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Tal como señalan Hernández et al. (2009:118)

Dada la complejidad y abstracción de la biología evolutiva, es preciso esclarecer desde esta disciplina científica los conceptos nodales que la estructuran: variación, SN, adaptación, azar, influencia del medio, especiación, dimensiones espacio temporales y las relaciones complejas entre éstos. Sólo si esclarecemos y relacionamos los conceptos evolutivos clave, identificamos y resolvemos eficazmente los obstáculos epistemológicos desde la disciplina, ahondamos en la filosofía evolutiva y la historia de la construcción de esta disciplina y desplegamos estrategias didácticas coherentes con estos fundamentos, obtendremos resultados educativos satisfactorios en relación con los contenidos de biología evolutiva que impacten positivamente a los sujetos en su formación científica, en su vida cotidiana y en su participación social.

La transposición didáctica es necesaria ya que, de no haber pasado por este proceso, el cuerpo de conocimientos académico estaría descontextualizado dentro del aula escolar (Chevallard, 1989:58) y eso dificultaría el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Al reconocer la necesidad de un proceso de transposición didáctica, debe también reconocerse la importancia de efectuar una “vigilancia epistemológica” (Astolfi, 2001:192), para asegurarse de que el saber enseñado en las aulas no se aleje en exceso del saber sabio (Chevallard, 2005:49. Citado en G. Galli, 2011:220), y para evitar que el saber a enseñar resulte en un saber en apariencia dogmático, que “enmascara el ‘auténtico’ funcionamiento de la ciencia” (Brousseau, 1986. Citado en Astolfi, 2001:192). Estas dos situaciones forman parte del análisis presentado en el Capítulo IV de esta investigación.

La tarea de la teoría didáctica⁴⁸ reside en hacer posible y fructífero el proceso de enseñanza-aprendizaje para el beneficio de la sociedad, y la teoría de la transposición didáctica “permite dar un paso más en esa dirección” (Chevallard, 1989:59).

Capítulo III Contexto educativo

En los capítulos anteriores se expusieron los fundamentos disciplinares y didácticos que sustentan el análisis de los LTG a efectuar en el Capítulo IV. En el presente capítulo se llevará a cabo una revisión del contexto educativo con el fin de situar al lector en el panorama actual de la educación en México y por lo tanto en el que se adscriben los LTG que serán objeto de análisis.

⁴⁸ Tradicionalmente el término *didáctica* se empleaba para hacer referencia a un adjetivo que caracterizaba a un tipo de herramientas o enseñanzas. Sin embargo, recientemente las delimitaciones de este concepto la sustantivan como “un movimiento de constitución de nuevos campos de estudio y de análisis de los fenómenos de enseñanza-aprendizaje, en relación con un contenido de aprendizaje bien especificado” (Astolfi, 2001:73-74).

3.1 Panorama de la Educación Básica en México

En México, el organismo rector de la educación es la Secretaría de Educación Pública (SEP); su misión es “crear condiciones que permitan asegurar el acceso de todas las mexicanas y mexicanos a una educación de calidad, en el nivel y modalidad que la requieran y en el lugar donde la demanden”⁴⁹. Como parte de sus funciones está la elaboración de los Planes y Programas de Estudio que se implementarán a nivel nacional. Asimismo, la SEP está encargada de promover las Reformas Educativas y de gestionar la elaboración de los LTG. Dado que las escuelas primarias deben atenerse a la Reforma Educativa vigente y que el material de enseñanza-aprendizaje fundamental son los Libros de Texto Gratuitos, a continuación se les caracterizará brevemente.

3.1.1 Los Libros de Texto Gratuitos

Desde su primera edición y hasta hoy en día, los Libros de Texto Gratuitos han sido el material fundamental por excelencia para la Educación Básica en México. A lo largo de su existencia, han enfrentado diversas modificaciones con cada una de las Reformas Educativas, siendo la presente edición la correspondiente a la Reforma Integral de la Educación Básica (RIEB) de 2009.

En la época postrevolucionaria, el Estado mexicano se abocó a planear y ejecutar acciones que tenían como objetivo principal la mejora en la calidad educativa, en un momento histórico donde la prioridad del Gobierno era llevar a México a un clima de *modernidad y desarrollo* (Anzures, 2011:364), teniendo como punto de partida la educación.

En este contexto, durante la gestión presidencial de Adolfo López Mateos (1958-1964) se puso en marcha el Plan Nacional de Mejoramiento de la Enseñanza Primaria (también llamado *Plan de once años*), con el que se pretendía que la educación obligatoria fuera asequible para toda la población mexicana. Como parte de este Plan y con Jaime Torres Bodet a la cabeza de la Secretaría de Educación Pública⁵⁰, en 1959 se creó la Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuitos (CONALITEG), cuya función principal era la elaboración de LTG y su repartición a todos los estudiantes de escuelas primarias públicas y privadas (Anzures, 2011:364-365).

Así, los LTG “se presentaban como una oportunidad de homogenizar los contenidos, orientar la didáctica y disminuir los costos indirectos de la educación de las familias, lo cual mejoraba las condiciones para integrar a más estudiantes a las aulas” (González, 2012, s/p), además de que formaban parte de una iniciativa para cumplir con la gratuidad en la *educación elemental* estipulada en el Artículo 3ro de la Constitución de 1917 (Greaves, 2001:205). Dicho de otra manera, los LTG contribuían con la gratuidad de la educación y favorecían el aumento de la

⁴⁹ En: http://www.sep.gob.mx/es/sep1/sep1_Vision_de_la_SEP#.UaY0ENI3DmQ (Accesado en octubre de 2013)

⁵⁰ Creada en 1921 bajo la titularidad del Lic. José Vasconcelos

En: http://www.sep.gob.mx/es/sep1/sep1_Historia_de_la_SEP#.UaTkFtI3DmQ (Accesado en octubre de 2013)

matrícula, además de que sirvieron para delimitar los conocimientos que todo estudiante mexicano debería tener⁵¹.

Desde sus inicios, los LTG han sufrido cambios acordes a las Reformas Educativas en turno. No obstante -siempre permeados de un trasfondo político- los LTG han sido apartados “de una necesaria y natural investigación consistente, sistemática y continua” (Barriga, 2011:354).

3.1.2 Los LTG y las Reformas a la Educación Básica

Como se mencionó en la sección anterior, los LTG son un reflejo de la Reforma Educativa en la que se suscriben los Planes y Programas que delimitan sus contenidos. A continuación, se hará una breve revisión de cada una de las cuatro Reformas Educativas del nivel Primaria que han existido a partir de la primera edición de los LTG, culminando con la RIEB de 2009.

La Reforma de 1960

La primera edición de los LTG se puso en circulación durante el ciclo escolar de 1960 (Greaves, 2001:216), y correspondía a los Planes y Programas elaborados en 1957 (González Pedrero, 1982:2. Citado en García, 2006:33). En ese momento, la educación era vista como un derecho ciudadano que posibilitaría la disminución de la desigualdad social y, de acuerdo con Villa Lever (2012: 3-4), representaba también -para el Estado- “la posibilidad de transmitir determinadas actitudes, normas y valores orientados a fomentar en los niños la solidaridad humana y las virtudes cívicas, y a inculcarles el amor a la patria”. Así, los primeros LTG⁵² tuvieron dos características particulares: a) contribuir a la unificación del sistema educativo de México y b) estar hechos especialmente para niños mexicanos (Salcedo Aquino, 1982:12. Citado en Villa Lever, 2012:4).

La Reforma de 1974

A catorce años de su lanzamiento, los LTG ya estaban bien establecidos como parte del proyecto educativo nacional. Como parte de la Reforma de 1974, se hizo una nueva versión de los LTG que dejaban atrás la visión nacionalista y procuraban generar una percepción de México dentro de un

⁵¹ De acuerdo con Greaves (2001:206), a través de estas acciones

...el Estado avanzaba en el proceso de democratización de la enseñanza al contrarrestar los efectos derivados de la desigual distribución de la riqueza y la falta de oportunidades educativas para un amplio sector de la población. Pero al mismo tiempo, el gobierno lopezmateísta buscaba promover un sentimiento nacionalista que contribuyera a una mayor integración de la sociedad mexicana. Para ello, los libros de texto gratuito eran el mejor conducto para lograr la difusión de una determinada ideología acorde con los intereses del Estado entre todos los sectores sociales, incluyendo los grupos económicamente privilegiados. Era la forma idónea para que éste pudiera mantener su hegemonía ejerciendo, además del político, un mayor control sobre el aparato educativo.

⁵² Los LTG, desde sus orígenes, estuvieron envueltos en grandes controversias, así como la oposición de diversos grupos políticos, de grupos de escritores y de autoridades eclesiásticas. Para ahondar en este tema, véase Greaves (2001) y Anzures (2011).

contexto global (CONALITEG, 2011. Citado en González, 2012, s/p) y al mismo tiempo “generar conciencia de la pluralidad geográfica y humana de México (Villa Lever, 2012:7). Para esta tesis, es pertinente mencionar que hubo gran polémica en torno a los libros de sexto grado de primaria y en particular a los de Ciencias Naturales, que trataban el tema de la Evolución Biológica y de la reproducción humana (Villa Lever, 2012:5).

De acuerdo con la CONALITEG (2011)⁵³:

Dentro de la discusión sobre los contenidos de los años setenta del siglo XX, los grupos opositores se resistieron, en el caso de los libros de ciencias, a la inclusión de la explicación del origen del hombre [sic] a partir de la teoría de la evolución de las especies, la cual contradecía el libro del Génesis de la Biblia.

Afirma Villa Lever (2012:7) que la edición de los LTG de 1974 se enfocaba en estimular el pensamiento crítico de los estudiantes y en que aprendieran a analizar, organizar y socializar la información⁵⁴.

La Reforma de 1994

Con Carlos Salinas de Gortari como presidente, existió una política de apertura económica que pretendía posicionar a México como un país de *primer mundo* y se firmó el Tratado de Libre Comercio. Como contraparte, en 1994 hubo una crisis financiera y el levantamiento del Ejército Zapatista de Liberación Nacional. Ambos acontecimientos develaron a México como un país con profunda inequidad (Villa Lever, 2012:7).

En el Acuerdo Nacional para la Modernización de la Educación Básica, se plantea “una reforma integral de los contenidos y materiales educativos que habrá de traducirse en la renovación total de programas de estudio y libros de texto para el ciclo escolar 1993-1994” (SEP, 1992:10).

Como parte de este Acuerdo,

...se plantea una nueva reforma a la educación que se plasma en el Programa para la Modernización Educativa, el cual incluye un diagnóstico que enfatiza el rezago educativo y se orienta a la eliminación de las desigualdades regionales y sociales, a partir de la mejora de la calidad de la enseñanza, de la integración de la educación al desarrollo económico, de la ampliación de las oportunidades educativas a través de modalidades no escolarizadas y de la reorganización del sistema educativo (Villa Lever, 2012:7).

Y en ese contexto se efectúa una renovación de los Programas de estudio y de los LTG (SEP: 1992. Citado en Villa Lever, 2012:7), que en esta ocasión fueron elaborados por especialistas de las distintas asignaturas.

⁵³ Citado en González, 2012, s/p.

⁵⁴ Si bien esta aseveración de Villa Lever (2012) se enfoca principalmente en los LTG de Ciencias Sociales, puede afirmarse que en los LTG de Ciencias Naturales y de Matemáticas también hubo un cambio similar con respecto a la edición de 1960 (Villa Lever, 2012:5-7).

Reforma de 2009

Como parte fundamental del Programa Sectorial de Educación 2007-2012⁵⁵, la Subsecretaría de Educación Pública plantea la Reforma Integral de la Educación Básica (RIEB) “que incluía una propuesta curricular para la educación primaria y un programa (...) para renovar los Libros de Texto Gratuitos, redactados conforme a un plan y programas de estudio reformados” (Villa Lever, 2012:9). Dentro del marco de la RIEB se estipulan dos cambios principales con respecto a las Reformas anteriores: la articulación de los tres niveles de Educación Básica (preescolar, primaria y secundaria) y la implementación de un Modelo Educativo basado en Competencias⁵⁶.

Con el fin de reformar los tres niveles de educación básica y vigilar su adecuada articulación, la modificación de los Planes y Programas de Estudios se dividió en tres etapas: en 2004 en el nivel Preescolar, en 2006 en nivel Secundaria y en 2009 en nivel Primaria (Robles, 2011:6).

De acuerdo con Robles (2011:7)

La RIEB en primaria tiene como reto principal la consolidación y la articulación del Modelo Educativo por Competencias, junto con la mejora en la gestión administrativa y financiera del Sistema Educativo sin perder de vista la diversidad cultural para erradicar las diferencias sociales entre los alumnos.

Como parte de la RIEB, la CONALITEG editó una nueva versión de los LTG que ha generado gran polémica. Si bien “en cada una de las generaciones de los LTG, se han presentado disputas sobre todo en torno a la orientación de la educación nacional y en cuanto a la naturaleza de sus contenidos” (González, 2012, s/p), la polémica en torno a los LTG de la RIEB 2009 “estuvo centrada en su falta de calidad. Las críticas provinieron sobre todo de especialistas e investigadores educativos y autores de libros de texto” (Villa Lever, 2011. Citado en Villa Lever, 2012:9).

Como se mencionó con anterioridad, desde sus inicios los LTG han respondido a un proyecto político y forman parte de una particular *política de Estado*. Dado lo anterior, puede aseverarse que “los LTG son un instrumento indispensable para conocer las tesis sociales, políticas y culturales de las que son portadores en cada uno de los momentos históricos en los que fueron realizados” (Villa Lever, 2012:1).

El objeto de análisis de esta tesis son los Contenidos de Biología Evolutiva del LTG de Ciencias Naturales para sexto grado de Primaria, por lo que en la siguiente sección se expondrá brevemente el panorama educativo actual, para posteriormente llevar a cabo el análisis de dicho material.

⁵⁵ Cuyo objetivo principal es “elevar la calidad de la educación para que los estudiantes mejoren su nivel de logro educativo, cuenten con medios para tener acceso a un mayor bienestar y contribuyan al desarrollo nacional” (SEP, 2007:13)

⁵⁶ El tema de las competencias se profundizará en la sección 3.2.4

3.2 Panorama de los Fines Educativos actuales

Con el objetivo de contextualizar el análisis de los LTG en el panorama educativo actual, a continuación se presentan las generalidades del Plan de Estudios para la educación básica, así como los Programas diseñados acorde a éste y el modelo educativo en el que ambos están basados.

3.2.1 Plan de Estudios

El Plan de Estudios para la Educación Básica, puesto en marcha en 2011, es el “documento rector que define las competencias para la vida, el perfil de egreso, los Estándares Curriculares y los aprendizajes esperados que constituyen el trayecto formativo de los estudiantes” (SEP, 2011a:25).

La reestructuración del Plan de Estudios para la Educación Básica comenzó a partir de la revisión del Plan de Estudios de 1993 (Robles, 2011:8), y las modificaciones efectuadas tienen como objetivo mejorar la calidad educativa y así propiciar que los estudiantes desarrollen herramientas que les permitan hacer frente a los retos del mundo actual.

El sistema educativo nacional deberá fortalecer su capacidad para egresar estudiantes que posean competencias para resolver problemas; tomar decisiones; encontrar alternativas; desarrollar productivamente su creatividad; relacionarse de manera proactiva con sus pares y la sociedad; identificar retos y oportunidades en entornos altamente competitivos; reconocer en sus tradiciones valores y oportunidades para enfrentar con mayor éxito los desafíos del presente y el futuro; asumir los valores de la democracia como la base fundamental del Estado laico y la convivencia cívica que reconoce al otro como igual; en el respeto de la ley; el aprecio por la participación, el diálogo, la construcción de acuerdos y la apertura al pensamiento crítico y propositivo (SEP, 2011a:9).

De acuerdo con Robles (2011:8), el Plan de Estudios de la RIEB está diseñado para que exista concordancia entre los conocimientos, las habilidades, las actitudes y los valores que pretende inculcarse a los estudiantes de Educación Básica en el país. Asimismo, Robles afirma que el objetivo principal de la RIEB es mejorar la calidad de la educación y, en aras de lograrlo, se incorporaron al currículum los siguientes rubros:

- Renovación de los contenidos
- Integración de nuevas estrategias didácticas
- Un enfoque multicultural
- Uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)
- Incorporación de la lengua materna, ya sea indígena o español
- Incorporación del inglés como lengua adicional.

Con el nuevo Plan de Estudios se enfatiza el papel central de los estudiantes y sus procesos de aprendizaje mediante un modelo educativo basado en el desarrollo de competencias a lo largo de su vida académica y del uso de materiales educativos que los favorezcan (SEP, 2011a:27-30). Asimismo, se prioriza la *Transversalidad de contenidos*, con lo que se pretende que algunos temas

se incluyan en más de una asignatura, y que esto promueva la “integración de saberes” dentro del aula (Robles, 2011:9).

En el Plan de Estudios (SEP, 2011a:43) se establecen cuatro campos de formación, a saber:

- Lenguaje y comunicación
- Pensamiento matemático
- Exploración y comprensión del mundo natural y social
- Desarrollo personal y para la convivencia

El objeto de estudio de esta tesis se centra en el tercero de dichos campos, dado que en él se incluye a la Biología como parte central de la formación de los estudiantes.

De acuerdo con el Plan de Estudios, la asignatura de Ciencias Naturales propicia la formación científica básica y es gracias a dicha asignatura que “los estudiantes se aproximan al estudio de los fenómenos de la naturaleza (...) de manera gradual y con explicaciones metódicas y complejas, y buscan construir habilidades y actitudes positivas asociadas a la ciencia” (SEP, 2011a:51).

3.2.2 Programa de Estudios

De acuerdo con Robles (2011:9-10) “los programas de estudio son estructuras que agrupan los contenidos y propósitos, [mismos que] que se desarrollan mediante las actividades de aprendizaje y la evaluación de una asignatura determinada”. Como parte de la RIEB, se marca que los programas de estudio de Educación Básica deben propiciar la articulación de los contenidos a enseñar en los tres niveles (preescolar, primaria y secundaria). Asimismo, los programas se estructuran bajo los cuatro campos formativos establecidos en el Plan de estudios, siendo el tercero de estos la *Exploración y comprensión del mundo natural y social*.

Los *Propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales en la educación primaria* concernientes al estudio de la evolución biológica y de la biología evolutiva son, que los estudiantes

Reconozcan la ciencia y la tecnología como procesos de actualización permanente, con los alcances y las limitaciones propios de toda construcción humana.

Interpreten, describan y expliquen, a partir de modelos, algunos fenómenos y procesos naturales cercanos a su experiencia.

Conozcan las características comunes de los seres vivos y las usen para inferir algunas relaciones de adaptación que establecen con el ambiente.

Integren y apliquen sus conocimientos, habilidades y actitudes para buscar opciones de solución a problemas comunes de su entorno⁵⁷.

⁵⁷ En: SEP, 2011b:84.

En cuanto a los contenidos de Ciencias Naturales, en el Plan de estudios se dividen en cinco ámbitos interrelacionados:

- Desarrollo humano y cuidado de la salud
- Biodiversidad y protección al ambiente
- Cambio e interacciones en fenómenos y procesos físicos
- Propiedades y transformaciones de los materiales
- Conocimiento científico y conocimiento tecnológico en la sociedad⁵⁸.

Es en el ámbito de *Biodiversidad y protección del ambiente* donde se insertan los contenidos de biología evolutiva como parte de la comprensión de las características de los seres vivos, su diversidad y las interacciones con el ambiente en el que habitan. De acuerdo con el planteamiento del Programa de estudios, es bajo este rubro que

Se plantea el reconocimiento de semejanzas o unidad y diferencias o diversidad de la vida. El análisis de estos procesos se asocia a la elaboración de explicaciones acerca de la existencia de seres vivos en diferentes ambientes; lo que permite acercarse a la noción de evolución en términos de cambio y adaptación en las características y funciones vitales, con base en las evidencias del registro fósil y en la diversidad de los seres vivos actuales (SEP, 2011b:98).

De acuerdo con el Plan de Estudios, el objetivo primordial de la enseñanza-aprendizaje del ámbito de *Biodiversidad y protección al ambiente* es que los estudiantes desarrollen una actitud de cuidado y respeto al medio ambiente (SEP, 2011b:99-103). Dado este sesgo en el aterrizaje de los contenidos, se deja fuera una perspectiva y comprensión más profunda del mundo vivo en cuanto al proceso de evolución biológica y sus implicaciones se refiere.

3.2.3 Mapa curricular

Abarca los campos de formación antes mencionados, en los cuales se insertan las asignaturas que guiarán la enseñanza-aprendizaje durante los tres niveles -preescolar, primaria y secundaria- y que servirán de eje para que los estudiantes cumplan con las características mencionadas en el Perfil de Egreso⁵⁹. Asimismo, se pretende que exista una articulación de contenidos a lo largo de los tres niveles de la Educación Básica, así como entre las asignaturas de cada uno de éstos⁶⁰.

A diferencia de otras asignaturas (como la *Segunda Lengua*), el estudio de las Ciencias Naturales está presente en los doce grados de la Educación Básica. No obstante, en el Plan de Estudios de la RIEB se propone un número de horas semanales para la revisión de cada una de las asignaturas, y en el caso de sexto grado, el estudio de las Ciencias Naturales tiene como tiempo sugerido *solamente* 4 horas semanales (SEP, 2011a:74), durante las que se pretende cubrir todo el programa de estudios de la asignatura.

⁵⁸ En: SEP, 2011b:97.

⁵⁹ Abordado en la sección 3.2.5

⁶⁰ Para conocer el Mapa Curricular de la Educación Básica, 2011, ver el **Anexo 2** de esta tesis.

Cabe mencionar que es a través de la puesta en marcha de los planes y programas de estudio que se pretende que los estudiantes alcancen ciertos estándares curriculares –acordes al periodo escolar correspondiente⁶¹-, en los que se sintetizan los aprendizajes esperados⁶² (SEP, 2011a:29) y que constituyen un referente para la evaluación del aprendizaje a lo largo de los distintos periodos de la Educación Básica.

3.2.4 Competencias

Como parte de la RIEB, se estableció que el modelo educativo que rige la Educación Básica se fundamenta en el desarrollo de competencias. *Competencia* es un concepto polisémico que colecta significados de las disciplinas por las que ha transitado. En el ámbito educativo hay dos vertientes principales que le dan significado: la lingüística y el ámbito laboral. Chomsky (1964) acuña el término de “competencia lingüística” como uno que da *identidad a un conjunto de saberes*, mientras que en el campo laboral una competencia se refiere a la estrategia que propicia la adquisición de habilidades y destrezas que le permitan a una persona desempeñarse de manera eficiente en alguna tarea (Díaz Barriga, 2006:12-13).

En el ámbito educativo se retoma el término y se define, de acuerdo con la SEP (2011a:29), como “la capacidad de responder a diferentes situaciones, e implica un saber hacer (habilidades) con saber (conocimiento), así como la valoración de las consecuencias de ese hacer (valores y actitudes)”. Por lo anterior, se puede afirmar que a través del modelo educativo basado en competencias, los alumnos podrán desarrollar estrategias que les sean de utilidad en la resolución de problemas tanto en su trayectoria académica como en la vida cotidiana.

Las competencias que se priorizan en el Plan de Estudios de la Educación Básica se dividen en cinco rubros⁶³:

- *Competencias para el aprendizaje permanente*. Para su desarrollo se requiere: habilidad lectora, integrarse a la cultura escrita, comunicarse en más de una lengua, habilidades digitales y aprender a aprender.
- *Competencias para el manejo de la información*. Su desarrollo requiere: identificar lo que se necesita saber; aprender a buscar; identificar, evaluar, seleccionar, organizar y sistematizar

⁶¹ De acuerdo con el Plan de Estudios (SEP,2011a:41), la Educación básica se divide -con base en las *características clave* del desarrollo cognitivo de los estudiantes según su edad- en 4 periodos de tres grados cada uno:

- 1° Preescolar
- 2° Primer a Tercer grado de Primaria
- 3° Cuarto a Sexto grado de Primaria
- 4° Secundaria

⁶² De acuerdo con el Plan de Estudios, 2011, Los **aprendizajes esperados** son indicadores de logro que, en términos de la temporalidad establecida en los programas de estudio, definen lo que se espera de cada alumno en términos de saber, saber hacer y saber ser; además, le dan concreción al trabajo docente al hacer constatable lo que los estudiantes logran, y constituyen un referente para la planificación y la evaluación en el aula (SEP, 2011a:29).

⁶³ SEP, 2011a:38-39.

información; apropiarse de la información de manera crítica, utilizar y compartir información con sentido ético.

- *Competencias para el manejo de situaciones.* Para su desarrollo se requiere: enfrentar el riesgo, la incertidumbre, plantear y llevar a buen término procedimientos; administrar el tiempo, propiciar cambios y afrontar los que se presenten; tomar decisiones y asumir sus consecuencias; manejar el fracaso, la frustración y la desilusión; actuar con autonomía en el diseño y desarrollo de proyectos de vida.
- *Competencias para la convivencia.* Su desarrollo requiere: empatía, relacionarse armónicamente con otros y la naturaleza; ser asertivo; trabajar de manera colaborativa; tomar acuerdos y negociar con otros; crecer con los demás; reconocer y valorar la diversidad social, cultural y lingüística.
- *Competencias para la vida en sociedad.* Para su desarrollo se requiere: decidir y actuar con juicio crítico frente a los valores y las normas sociales y culturales; proceder a favor de la democracia, la libertad, la paz, el respeto a la legalidad y a los derechos humanos; participar tomando en cuenta las implicaciones sociales del uso de la tecnología; combatir la discriminación y el racismo, y conciencia de pertenencia a su cultura, a su país y al mundo.

El objetivo es que los estudiantes comiencen a desarrollar dichas competencias durante los tres niveles de la Educación Básica, y que sean capaces de seguirlas desarrollando durante el resto de la vida.

3.2.5 Perfil de egreso

Se refiere a un conjunto de rasgos que los alumnos deberán tener al finalizar la Educación Básica, y que les serán de utilidad para desenvolverse en “cualquier ámbito en el que decidan continuar su desarrollo” (SEP, 2011a:39). Cabe mencionar que, desde la perspectiva de la Secretaría de Educación Pública (SEP) este perfil ideal será alcanzado por los alumnos gracias no solamente a los Planes y Programas de estudio, sino también a la colaboración formativa de los docentes, los padres y las madres de familia (SEP, 2011a:40).

El perfil de egreso planteado en el Plan de Estudios 2011 es el siguiente⁶⁴:

- a) Utiliza el lenguaje materno, oral y escrito para comunicarse con claridad y fluidez, e interactuar en distintos contextos sociales y culturales; además, posee herramientas básicas para comunicarse en Inglés.
- b) Argumenta y razona al analizar situaciones, identifica problemas, formula preguntas, emite juicios, propone soluciones, aplica estrategias y toma decisiones. Valora los razonamientos y la evidencia proporcionados por otros y puede modificar, en consecuencia, los propios puntos de vista.
- c) Busca, selecciona, analiza, evalúa y utiliza la información proveniente de diversas fuentes.

⁶⁴ En: SEP, 2011a:39-40.

- d) Interpreta y explica procesos sociales, económicos, financieros, culturales y naturales para tomar decisiones individuales o colectivas que favorezcan a todos.*
- e) Conoce y ejerce los derechos humanos y los valores que favorecen la vida democrática; actúa con responsabilidad social y apego a la ley.*
- f) Asume y practica la interculturalidad como riqueza y forma de convivencia en la diversidad social, cultural y lingüística.*
- g) Conoce y valora sus características y potencialidades como ser humano; sabe trabajar de manera colaborativa; reconoce, respeta y aprecia la diversidad de capacidades en los otros, y emprende y se esfuerza por lograr proyectos personales o colectivos.*
- h) Promueve y asume el cuidado de la salud y del ambiente como condiciones que favorecen un estilo de vida activo y saludable.*
- i) Aprovecha los recursos tecnológicos a su alcance como medios para comunicarse, obtener información y construir conocimiento.*
- j) Reconoce diversas manifestaciones del arte, aprecia la dimensión estética y es capaz de expresarse artísticamente.*

Como se mencionó a lo largo del capítulo, en años recientes se han llevado a cabo cambios importantes en el ámbito educativo mexicano. Si dichos cambios se hicieron con el objetivo de mejorar la calidad de la educación, entonces deberá verse un reflejo de dicha mejora en los LTG, así como en la formación docente. Si bien tanto los materiales educativos como el cuerpo docente son fundamentales para los procesos escolares de enseñanza-aprendizaje, en esta tesis el análisis se abocará solamente a los contenidos de los LTG, dejando las cuestiones relativas a la docencia abiertas para investigaciones posteriores.

Capítulo IV Análisis de los contenidos de Biología Evolutiva del libro de Ciencias Naturales, Sexto Grado

Los tres capítulos anteriores de esta tesis han servido para dar un sustento disciplinar y didáctico al análisis que a continuación se presenta. Como se mencionó anteriormente, los LTG son los materiales educativos fundamentales de enseñanza-aprendizaje en las escuelas primarias y, como afirman Guerra y López (2011:442), en muchos casos son los únicos a los que los estudiantes tienen acceso. Más aún, los LTG son los primeros textos de ciencia que los alumnos leen, por lo

que se convierten en modelos de lectoescritura [científica] para ellos (Mares et al., 2006:884). Por tales motivos, resulta pertinente llevar a cabo un análisis de dichos materiales.

Si, como afirmó Dobzhansky, “nada en biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución” (Dobzhansky, 1973:125), entonces será importante que los estudiantes tengan una adecuada comprensión de la evolución biológica para que puedan comprender al mundo vivo.

Entonces, si el recurso didáctico primordial en las escuelas primarias mexicanas es el LTG, y si el tema unificador de la biología es la evolución, analizar los contenidos de biología evolutiva de los LTG es de gran relevancia. Aunado a eso, la SEP (2011a:10) hizo una invitación a analizar y colaborar en el mejoramiento del Plan de Estudios, y uno de los objetivos de esta tesis es precisamente responder a esa invitación, contribuyendo con el análisis de los materiales educativos, vistos como uno de los ejes rectores de la puesta en marcha de dicho Plan.

Si bien es cierto que los LTG no son los únicos materiales elaborados específicamente para la enseñanza-aprendizaje de la Ciencias Naturales en sexto grado, de acuerdo con Guerra y López (2011:442), otros materiales educativos más modernos –electrónicos, por ejemplo- no están disponibles en todos los entornos, así que los libros de texto continúan siendo los recursos didácticos más usados por los docentes.

4.1 Categorías de análisis

Los LTG a analizar⁶⁵, corresponden a los editados en el marco de la RIEB del año 2009 y con el Plan de Estudios 2011 (revisado en la sección 3.2.1). El análisis de los contenidos de biología evolutiva se llevará a cabo conforme a cuatro categorías, a saber: presencia, precisión e interrelación de conceptos fundamentales; imágenes; actividades de aprendizaje; relación con los objetivos del Plan de Estudios.

Estas categorías fueron seleccionadas con base en el *Cuestionario de opinión institucional sobre el diseño y desarrollo de los materiales* y del *Cuestionario de opinión. Instituciones líderes en la rama del conocimiento* que la SEP elaboró con el objetivo de que se dictaminara a los LTG, edición 2009. Asimismo, las categorías seleccionadas responden tanto al marco disciplinar (¿qué contenidos se enseñan?) como al didáctico (¿cómo se enseñan dichos contenidos?), y que sirven para sustentar el análisis de *la transposición didáctica de la biología evolutiva* en los LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, edición 2013⁶⁶. El análisis se centra, exclusivamente, en el **Tema 1** (*Cambios en los seres vivos y procesos de extinción*) del **Bloque II** (¿Cómo somos los seres vivos?)

⁶⁵ La versión electrónica de este material se encuentra en <http://basica.sep.gob.mx/reformaintegral/sitio/index.php?act=buscadorlibros> (Accesado en febrero de 2013)

⁶⁶ Si bien el material analizado corresponde propiamente a la edición 2010, tanto en la segunda edición (2011) como en la primera reimpresión (2011, ciclo escolar 2012-2013) existen diferencias con respecto a la edición 2010. Por tal motivo, y porque son los LTG vigentes en el presente ciclo escolar, serán referidos como *edición 2013*. Asimismo, se citará al LTG analizado como **Cervera et al. (2011)**.

de dicho texto, ya que es únicamente en esa sección donde se incluyen los contenidos de biología evolutiva⁶⁷.

4.1.1 Presencia, precisión e interrelación de Conceptos Fundamentales de Biología Evolutiva

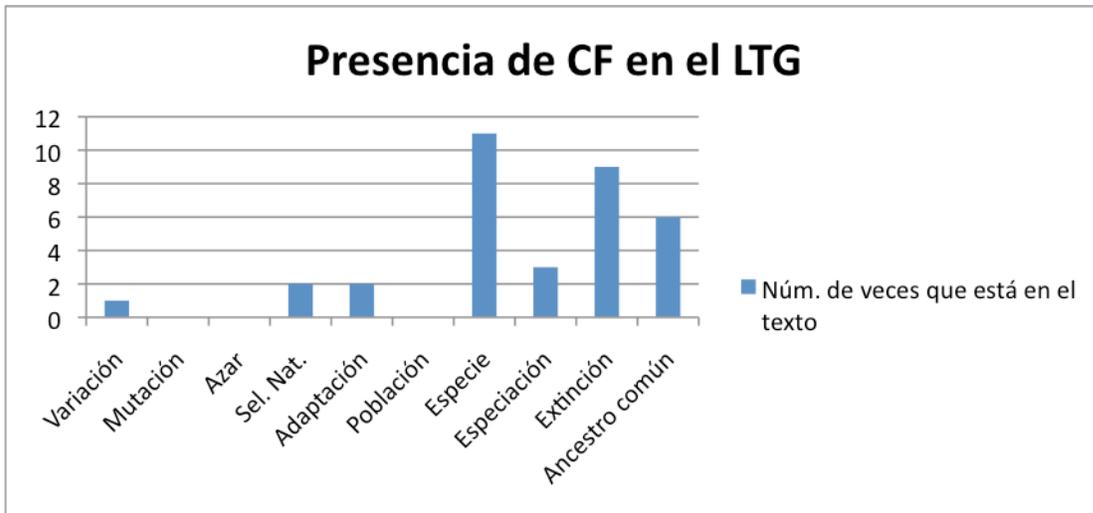
Dado que el contenido disciplinar es el eje principal de análisis de esta tesis, esta categoría será revisada en primera instancia, de manera tal que se tenga una perspectiva de ésta a lo largo de las categorías subsecuentes. A continuación, se expone la presencia/ausencia, precisión e interrelación de los conceptos fundamentales de biología evolutiva (CF), revisados en la sección 1.1.2.1.

Presencia/ausencia de CF

Para determinar la presencia o ausencia de cada uno de los CF, se realizó un conteo del número de veces que se les menciona (**Gráfica 4.1.1**⁶⁸), y se encontró que hay una gran inequidad entre el número de menciones que se hace de los distintos conceptos. En el LTG, el concepto que guía los contenidos de este Tema es el de *extinción*, que si bien es un CF de la biología evolutiva, se presenta de manera aislada con respecto a los conceptos centrales del modelo de evolución establecido por la Teoría Sintética: *variación* y *selección natural*. Asimismo, se omiten conceptos que desde la perspectiva de la Teoría Sintética son fundamentales para entender el proceso evolutivo. Tal es el caso de los conceptos *mutación*, *azar* y *población*.

⁶⁷ En el Anexo 3 se presenta la Tabla de contenidos totales del libro.

⁶⁸ En esta gráfica se muestra una relación entre los CF y el número de veces que están de manera explícita o implícita en el texto, ya sea conformando alguna explicación, imagen, o como parte de alguna actividad de aprendizaje.



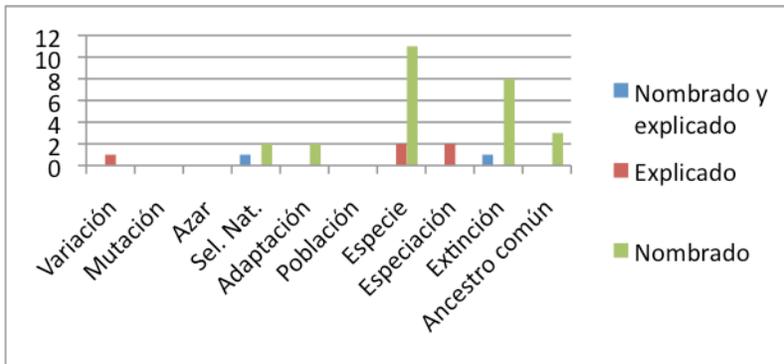
Gráfica 4.1.1: Presencia/ausencia de Conceptos Fundamentales en el LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, edición 2013.

Precisión de CF

Para la adecuada comprensión de algún concepto no basta con mencionarlo, sino que es importante que se explique su significado. Asimismo, no basta con presentar el significado de manera explícita, sino que debe darse a conocer el término que lo engloba.

Se encontró que en el LTG la información es incompleta y poco esclarecedora, ya que en la gran mayoría de las ocasiones, se nombra al concepto pero no se le explica, o viceversa. Como se observa en la **Gráfica 4.1.2**⁶⁹, solamente hay dos CF (*selección natural* y *extinción*) en los que se correlaciona explícitamente el nombre con la explicación.

⁶⁹ Esta gráfica da cuenta del número de veces en las que se nombra y/o explica cada uno de los CF en el texto principal, en las imágenes incluidas y en las actividades de aprendizaje. En esta gráfica, las categorías de “explicado” y “nombrado” son mutuamente excluyentes. En la categoría “Nombrado y explicado” se incluye únicamente a los casos en que se menciona *explícitamente* que una explicación corresponde a un CF.



Gráfica 4.1.2: Relación entre las veces que se nombra y/o explica cada CF en los LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, edición 2013.

Aunado a la falta de correlación explícita entre un CF y su significado, se encontraron omisiones y errores conceptuales, lo que provoca una comprensión inadecuada de la evolución biológica. Tal es el caso del CF de *adaptación*, que no se explica y cuando se menciona en el texto, es de una manera en la que se fomenta el pensamiento teleológico de los estudiantes:

Darwin llegó a la conclusión de que todos los pinzones de Galápagos [sic] provenían de un ancestro común, que había evolucionado *para*⁷⁰ adaptarse a los suministros locales de alimento en las distintas islas (p.64).

Se presenta otro error conceptual al hablar del proceso de *selección natural* cuando se menciona que gracias a ésta, “los organismos con más éxito reproductivo logran sobrevivir en mejores condiciones y desplazan a los que no pueden heredar su información a lo largo de generaciones” (p.63). El error consiste en que, si bien el proceso de selección natural está directamente relacionado con la reproducción diferencial, el tener rasgos desfavorables no anula por completo la posibilidad de reproducción del individuo. En cambio, la razón por la que hay un decremento en la frecuencia de individuos con fenotipos que resultan desfavorables en ese ambiente no se debe a que no hereden sus rasgos a sus descendientes, sino a que –precisamente- hay rasgos en su fenotipo que disminuyen su probabilidad de supervivencia y de reproducción. Aunado a eso, la frase *en mejores condiciones* es ambigua y confusa con respecto al contexto en el que se inserta.

En cuanto al concepto de *especie*, se encontró que a pesar de que es mencionado once veces (**Gráfica 4.1.1**), en ningún momento se explicita su significado. Hay dos ocasiones en las que se hace referencia a los cambios y la extinción de “un grupo de seres vivos” (p.60), sin embargo no menciona de manera clara si se refiere a una especie o a una población, aunque por el contexto de la frase, en las Gráficas 4.1.1 y 4.1.2 se incluyó en la categoría de *especie*. Cabe mencionar que el concepto de *población* está del todo ausente, ya que en la única frase⁷¹ en la que se hace

⁷⁰ En el texto original no aparece en cursivas.

⁷¹ “Los organismos con ventajas en determinado ambiente pueden dejar más descendencia que otros individuos con características distintas que se hallan en las mismas condiciones” (p.63).

referencia a él, es tan ambigua que no puede afirmarse que se esté hablando de una población, o de individuos separados geográficamente pero que habitan en ambientes muy similares.

Asimismo, para explicar el concepto de *evolución*, se menciona que “los seres vivos cambian de manera lenta y constante, y que estos pequeños cambios se heredan⁷² de generación en generación” (p.63). A pesar de que esta frase da cuenta de un proceso evolutivo gradual y deja implícito que ocurre en vastos periodos de tiempo, en la página siguiente se explica que la evolución es “el cambio de los organismos en el tiempo” (p.64), y no se precisa a qué tipo de cambio se refiere, ni el tiempo en el que éste transcurre. Esta manera de explicar el cambio evolutivo, puede generar en los estudiantes la interpretación errónea de que *evolución* se refiere a los cambios del cuerpo durante el ciclo de vida.

En la sección 1.1.2.1 de esta tesis se expusieron los conceptos fundamentales que permiten comprender -desde la perspectiva de la Teoría Sintética- la evolución biológica. Como se explicó, esta teoría es la que aparece en los Planes de estudio como prevaleciente en los procesos escolares de enseñanza-aprendizaje. De acuerdo con dicha teoría, el modelo de evolución biológica tiene como pilares a los conceptos de *variación* y *selección natural*, por lo que en los LTG debería de presentarse al menos estos dos conceptos de manera impecable.

Es importante resaltar que la precisión y profundidad conceptual necesaria en los LTG de Educación Básica dista mucho de ser una simplificada. En cambio, debe estar basada en criterios disciplinares, pedagógicos y didácticos que fomenten el aprendizaje -y no la confusión- de los estudiantes.

Interrelación de CF

Tal como se mencionó en la sección 1.1.2.1, la biología evolutiva está conformada por una red conceptual, en la que los conceptos se entretajan y es a través de la comprensión de las relaciones entre ellos que se pueden desarrollar competencias lingüísticas, así como un entendimiento amplio de la evolución biológica, y que presentar los conceptos de manera aislada impide en gran medida que dicho entendimiento se desarrolle. En palabras de Mares et al. (2006:891)

Con respecto a las competencias lingüísticas relativas a la disciplina que se aborda, un texto que gira alrededor de la noción central del o los conceptos que se trabajan con los niños favorece el desarrollo de una estructura conceptual correspondiente con el sistema científico.

En el LTG analizado se encontró que la interrelación conceptual es parcial, y en algunos casos en los que se les relaciona, es de manera superficial y poco explícita, lo cual se ejemplifica con un fragmento de la **página 63**:

⁷² Esta frase puede propiciar la noción errónea de que *todos* los cambios se heredan de generación en generación. Esto podría resolverse si en la frase se leyera “(...) algunos de estos cambios pueden heredarse de generación en generación”.

Darwin plantea que los individuos de una misma especie nacen con diferencias entre sí⁷³ (...), las características que los hacen diferentes intervienen como ventajas o desventajas. Los organismos con ventajas en determinado ambiente pueden dejar más descendencia que otros individuos con características distintas que se hallan en las mismas condiciones.

En este fragmento se muestra de manera escueta la relación entre *variación* y *selección natural*, en la que no se especifica que la materia prima del proceso de selección natural es la variación.

Asimismo, en el siguiente párrafo de esa página se menciona que “la selección natural es la base de la evolución de la vida” (p.63), sin embargo la manera inconexa en la que se da cuenta de la selección natural no permite que se entienda el significado de dicha aseveración.

Hay cuatro conceptos a los que se les vincula en repetidas ocasiones, pero únicamente entre ellos, sin entretenerlos con el resto de los conceptos presentes. Dichos conceptos son: *especiación*, *extinción*, *tiempo geológico* y *ancestro común*. Un ejemplo de esto se puede ver en la **página 53** del LTG, donde hay una imagen -sin pie de figura- en la que se presentan a algunos ancestros del “caballo moderno” (género *Equus*). La manera en la que se presenta la interrelación de los cuatro conceptos es únicamente implícita, ya que se menciona hace cuántos millones de años existieron algunas especies que dieron origen al género *Equus* (p.53) pero sin conectores que expongan claramente su interrelación. Aunado a esto, al usar verbos en pretérito para referirse a los ancestros del género *Equus*, el lector puede concluir que son especies que no existen actualmente, pero en ningún momento se explicita que sean especies ya extintas. Asimismo, el concepto de *fósil* se explica de manera extensa y explícita, sin embargo no se le presenta como una evidencia de la evolución biológica en general, sino simplemente como evidencia de *especiación* (p.60) y *extinción* (p.58).

Se concluye entonces, que con una interrelación de CF incompleta y superficial, será difícil que se favorezca en los estudiantes el desarrollo de la *estructura conceptual correspondiente con el sistema científico* que mencionan Mares et. al (2006).

La biología evolutiva se vale de un marco conceptual extenso, en el que los conceptos se entretienen para proporcionar un modelo explicativo amplio, preciso y profundo. No obstante, en los LTG los CF se presentan mayoritariamente aislados y de manera sobre-simplificada, e incluso hay algunos que se omiten por completo (como en los casos de *mutación*, *azar* y *población*).

Para proporcionar una plataforma de comprensión adecuada, es importante que en el texto se expliquen los conceptos y que además se haga mención del término con el que se les conoce, y en los LTG sólo sucede eso con los conceptos de *extinción* y *selección natural*. Por último, cabe mencionar que los errores conceptuales señalados en esta sección propician una inadecuada comprensión, no sólo del concepto, sino del Modelo de Evolución por Variación y Selección Natural.

⁷³ Única mención del concepto *variación*, sin aclarar que recibe este nombre y que ocurre, en primera instancia, a nivel individual e irá repercutiendo a nivel poblacional.

De acuerdo con Mares et al. (2006),

...lo que el niño hace con los conceptos científicos que se están introduciendo propicia el desarrollo de formas de pensamiento, las que pueden ser pertinentes o no con las aceptadas por las comunidades científicas y tal vez con aquellas que, sin ajustarse a los cánones dictados, posibilitan la generación de conocimiento (Mares et al., 2006:884).

Con base en el análisis realizado, se concluye que los errores y las omisiones conceptuales, aunado a la manera superficial en la que se exponen los conceptos presentes y a la incompleta y ambigua interrelación entre ellos, no propicia que los estudiantes sienten las bases para el desarrollo de un pensamiento evolutivo, lo cual va en detrimento de su comprensión del mundo vivo. Esto se contrapone con al menos uno de los propósitos mencionados en el Programa de estudios (SEP, 2011b:83), a saber: que los estudiantes “desarrollen habilidades asociadas al conocimiento científico y sus niveles de representación e interpretación acerca de los fenómenos naturales”.

4.1.2 Imágenes

De acuerdo con Torrealba (2004), los elementos visuales ocupan un lugar fundamental en el aprendizaje (Citado por Solís, 2012:52). Sin embargo, cuando se analizan los contenidos de los libros de texto, las imágenes quedan al margen de dichos análisis (Solís, 2012:10). Dada su importancia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, Jiménez y Perales (2002) insisten en que las imágenes deben de ser analizadas en conjunto con el contenido semántico del libro (Citado en Solís, 2012:11); de esa manera, podrá corroborarse la correspondencia que hay entre el contenido del lenguaje verbal y del lenguaje gráfico que se está presentando a los estudiantes.

Siguiendo dicha recomendación, a continuación se analizará en qué medida las imágenes del LTG corresponden con el contenido de biología evolutiva presentado en el texto y también se analizará si cumplen o no una función como recursos didácticos.

En el análisis del LTG, se encontró que más de la tercera parte del total de las imágenes de biología evolutiva⁷⁴ que contiene el Tema 1 corresponde a imágenes de fósiles. Con esto, se concluye que *aparentemente* hay una coherencia con uno de los *aprendizajes esperados* del Tema, planteado en la **página 53**, que se dirige hacia el estudiante afirmando que “durante el desarrollo de este tema, comprenderás la importancia de los fósiles como evidencia de los cambios de los seres vivos”. Si bien es cierto que los restos fósiles son una evidencia del proceso evolutivo y que presenta una gran cantidad de imágenes de ellos, en el texto no hay un soporte conceptual que permita al alumno comprender la importancia de los fósiles para afirmar que la evolución biológica es un hecho. Por lo anterior, podría suponerse entonces que las imágenes funcionarían como un recurso didáctico útil para aglutinar los conceptos que den pie a comprender la importancia de los fósiles como evidencia de la evolución biológica.

No obstante, en los pies de figura no se hace más que describir algunas características del fósil que aparece en la imagen, excepto en el que aparece en la página 63, donde se lee lo siguiente:

⁷⁴ En el análisis no se tomaron en cuenta las imágenes relativas a cambios en la corteza terrestre, ya que no pertenecen directamente al campo disciplinar objeto de esta tesis.

“Esqueleto de *Mononykus* encontrado en el Desierto de Gobi de Mongolia; es considerado un ave primitiva”. Salvo ese ejemplo, las imágenes de fósiles presentadas sirven como mera ilustración o, en el mejor de los casos, sirven para que el estudiante aprenda que desde hace millones de años hay vida en la Tierra, pero no para evidenciar las relaciones filogenéticas entre los organismos fósiles y los actuales.

En cuanto a las imágenes que directamente pretenden dar cuenta del proceso evolutivo, en el LTG se encuentran únicamente dos. En una de ellas (A) se muestran algunos ancestros del género *Equus* (p.53) y en la otra (B) distintas estructuras de alas (p.63). En la imagen A se da cuenta de cinco ancestros del “caballo moderno” en una secuencia lineal. En cada una de las cinco figuras se describe brevemente algunas de sus características físicas y se menciona hace cuánto tiempo habitaron la Tierra. En la imagen B se muestran seis figuras de alas, en las que parece existir una progresión ascendente en su tamaño y cantidad de plumas.

En un libro, la lectura del texto se hace de manera secuencial, mientras que las imágenes “permiten una lectura en superficie” (Moles, 1991. Citado en Jiménez y Perales, 2002:115) Aunado a esto, cabe mencionar que las imágenes son polisémicas, por lo que no puede saberse con certeza la manera en que el lector las interpretará ya que, de acuerdo con la *teoría de doble codificación*, la interpretación de una imagen está ligada al sistema de percepción de quien la observa y no a la imagen en sí misma (Paivio, 1986. Citado en Jiménez y Perales, 2002:115).

Por lo anterior, con una imagen que presenta las relaciones de ancestría de manera lineal (A), hay una gran probabilidad de que el lector interprete las relaciones filogenéticas también de manera lineal. Lo mismo ocurre con la figura B, en la que se promueve una interpretación del cambio evolutivo como uno que implica el aumento progresivo de determinadas características (tamaño y cantidad de plumas, en este caso).

De acuerdo con la teoría de doble codificación, si se busca que una imagen sea interpretada de manera apegada a lo que el autor quiere transmitir, es importante que haya *conurrencia*, es decir, una concordancia entre la información verbal (texto) y la gráfica (imagen) (Paivio, 1986. Citado en Jiménez y Perales, 2002:115). Dicho de otra forma, las imágenes deben ser utilizadas como un refuerzo del texto que se presenta, en concordancia con “los fines y los contenidos de los programas de estudio”, y no únicamente con fines estéticos (Solís, 2012:12).

La Teoría de doble codificación establece que es necesaria una correspondencia entre la información verbal y la gráfica, de modo tal que se reduzca el rango de posibles interpretaciones erróneas que el lector haga de la imagen. Dado lo anterior, debe prestarse especial cuidado en las imágenes que pretendan representar algún concepto novedoso para los estudiantes (como *selección natural, ancestro común y evolución biológica*, en este caso), ya que de lo contrario aumenta el riesgo de una interpretación errónea (Solís, 2012:54-55). El problema (en términos de enseñanza-aprendizaje) es que en los contenidos analizados no existe una adecuada red conceptual que permita al lector comprender el proceso de evolución biológica; asimismo, las

imágenes no aportan explicaciones que logren llenar las omisiones conceptuales o corregir los errores del texto, sino que incluso los fomentan.

Solís (2012) afirma que

La razón por la que es difícil encontrar en los textos imágenes de evolución que representen el proceso en su conjunto, es porque se pretende con una sola imagen constituirlo; por el contrario, las imágenes deben establecer un diálogo permanente con el alumno y el profesor que permita la retroalimentación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la evolución biológica (Solís, 2012:56).

Así pues, “cada elemento que forma una imagen afecta el contenido o el mensaje” que se desea transmitir (Solís, 2012:5). Dada la influencia que tienen las imágenes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, entender que

...las técnicas de comunicación visual manipulan todos los elementos subjetivos y objetivos que constituyen un mensaje visual, le permitirá al docente construir recursos no verbales fortalecidos que repercutirán en una mejor comunicación y aprovechamiento educativo (Solís, 2012:5).

No obstante, la falta de conocimiento de los docentes acerca del uso potencial de las imágenes provocan que, salvo pocas excepciones, las imágenes sean consideradas como meras ilustraciones (Solís, 2012:9), y no como herramientas didácticas. Más aún, una imagen que no encuadra con precisión la información que se pretende comunicar a través de ella, aumenta la propensión de ser percibida simplemente como una ilustración.

Cabe mencionar que la función de una imagen depende del contexto mismo de la imagen y de la relación que esta tiene con el resto del documento, y que mientras más se haga referencia de ella en el texto, mayor será su valor explicativo (Salas, 2006. Citado en Solís, 2012:53). Entonces, respecto de las dos imágenes que pretenden dar cuenta del cambio evolutivo, se puede afirmar que el valor que tienen es mínimo, pues en el texto no se hace referencia a ellas.

Por lo expuesto en esta sección, se concluye que las imágenes presentes en el Tema 1 del LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, no funcionan como un recurso didáctico, sino que muchas de ellas funcionan tan sólo como ilustraciones y, en el caso de las figuras de las páginas 53 y 63, incluso podrían provocar en los estudiantes una comprensión errónea del proceso de evolución biológica, al simplificarlo en extremo y presentarlo como un proceso lineal y progresivo.

4.1.3 Actividades de aprendizaje

De acuerdo con García-Rodeja (1997), *actividad de aprendizaje* se refiere a “todo aquello que demande del alumnado algún tipo de actividad, ya sea mental o física, cuya finalidad sea promover el aprendizaje por parte de los estudiantes de los contenidos prescritos” (Citado en Guerra y López, 2011:449). Su importancia radica en que involucran distintos tipos de

procedimientos⁷⁵, los cuales contribuyen tanto al aprendizaje de conocimientos científicos como al desarrollo cognitivo de los estudiantes (Sánchez Blanco y Valcárcel, 2000; Sanmartí et al., 1990. Citados en Martínez y García, 2003:244).

En esta tesis se analizaron las actividades propuestas en el Tema 1 del Bloque II del LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, y se clasificaron de acuerdo con las categorías⁷⁶ que Guerra y López (2011:450) retomaron y modificaron de Martínez y García (2003), y que se presentan en la siguiente tabla (4.3.1):

Propósito⁷⁷	Procedimiento
A. Aplicación de la teoría Interpretar y utilizar la información que proporcionan textos o imágenes.	a. Planificación del proceso Emisión de hipótesis, identificación y/o control de variables, diseño de experiencias
B. Obtención de nuevos conocimientos Derivar algún tipo de comprensión a partir de experiencias, observaciones, texto, imágenes u otras fuentes.	b. Observación Observación directa de objetos presentes u observación indirecta de representaciones gráficas
C. Detección de ideas previas Explorar nociones espontáneas de un tema en forma de descripciones, predicciones o explicaciones sobre fenómenos o situaciones familiares	c. Búsqueda de información Identificación y selección de información relevante en una fuente concreta (informantes, libros, Internet, etc.)
D. Desarrollo de técnicas Ejercitación en técnicas de clasificación, registro, estimación, cálculo, uso de instrumentos, etc.	d. Organización de la información Descripción, identificación de características, establecimiento de relaciones, reconocimiento de diferencias y semejanzas, ordenación,

⁷⁵ Los procedimientos se refieren a “un conjunto de acciones ordenadas dirigidas a la consecución de una meta u objetivo” (Coll et al., 1992. Citado en Martínez y García:244). De acuerdo con Martínez y García (2003:244) se clasifican en dos grandes grupos: a) los relativos a obtención de información y su análisis, interpretación, organización conceptual y comunicación y b) los relacionados con la indagación y resolución de problemas. Y agregan que recientemente se ha puesto gran interés en los que involucran habilidades cognitivo-lingüísticas, entre los que se cuentan la justificación y la argumentación.

⁷⁶ Para el análisis aquí presentado, se excluyó la categoría procedimental de “Habilidades manipulativas y de cálculo”, por su falta de pertinencia con este análisis.

⁷⁷ Martínez y García (2003) y Guerra y López (2011) le llaman “Objetivos”, sin embargo, en concordancia con los términos que se manejan en la RIEB, en este análisis se les llamará “Propósitos”.

	clasificación
E. Indagación Explorar fenómenos y procesos naturales a partir de preguntas que se responden mediante investigación o experimentos y concluir con la elaboración o reelaboración de ideas	e. Comunicación Comunicar ideas o resultados mediante frases, resumen, informe, mural, esquema, dibujo, tablas, gráficos, intercambio de ideas/opiniones
	f. Interpretación Elaboración del significado de hechos, fenómenos, situaciones, datos numéricos, tablas o gráficos
	g. Elaboración de conclusiones Derivación de conclusiones a partir de información analizada
	h. Argumentación ⁷⁸

Tabla 4.3.1: Categorización de propósitos y procedimientos (Categorías tomadas de Guerra y López, 2011:450)

Cada una de las actividades tiene un propósito (que fue dilucidado como parte de este análisis), al que se pretende que los estudiantes lleguen a través de determinados procedimientos. En la **Tabla 4.3.2** se presenta la relación de las actividades y sus propósitos, y los procedimientos mediante los que dichos propósitos se pretenden alcanzar.

Actividad y página en la que se presenta	Propósito	Procedimiento
1 (p.53)	B, E	c,e,g
2 (p.56)	B	c
3 (p.57)	B,E	c,e,g,h
4 (p.58)	A	b,e

⁷⁸ Martínez y García no insertan las argumentaciones en alguna categoría, sino que se añadió en este análisis.

5 (p.59)	A, E	b, e, g
6 (p.60)	B, E	c, d, f, e
7 (p.60)	E	b, f
8 (p.61)	A, E	b, f, e, g
9 (p.62)	B	e, g, h
10 (p.65)	A	f, g
11 (p.65)	B	c, e, f

Tabla 4.3.2: Relación entre los propósitos y los procedimientos de cada actividad analizada, de acuerdo con las categorías presentadas en la Tabla 4.3.1 (retomadas de Guerra y López, 2011:450)

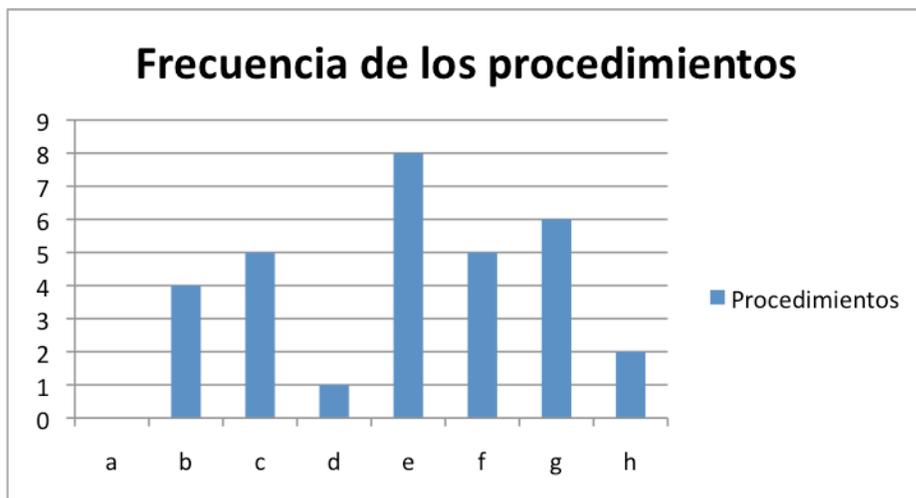
De las once actividades propuestas⁷⁹ en el Tema 1, se encontró que los **Propósitos** que predominan en las actividades del LTG son los relativos a la aplicación de teoría (A), obtención de nuevos conocimientos (B) e indagación (E), tal como se observa en la **Gráfica 4.3.1.**



Gráfica 4.3.1: Propósitos de las actividades del LTG.

⁷⁹ Cabe mencionar que algunas de las actividades tienen más de un propósito, por lo que en total se contabilizaron 16, correspondientes a 11 actividades.

Como lo muestra la **Gráfica 4.3.1**, existe una marcada desigualdad entre los tipos de propósitos de las actividades, siendo que predominan las relativas a la adquisición de información. Para alcanzar dichos propósitos, se privilegian los procedimientos de búsqueda, interpretación y comunicación de la información, así como de elaboración de conclusiones, como se observa en la **Gráfica 4.3.2**



Gráfica 4.3.2: Procedimientos requeridos en las actividades del LTG

En comparación con el análisis que llevaron a cabo Guerra y López (2011) de la edición 2009 de los LTG, se encontró similitud en la “tendencia clara a promover el desarrollo de habilidades procedimentales relacionadas con la obtención, procesamiento y comunicación de información en el centro de la formación de los estudiantes” (Guerra y López, 2011:457). No obstante, puede afirmarse que hubo cambios en cuanto a la cantidad de actividades que tienen como propósito la indagación y la elaboración de conclusiones. Sin embargo, a partir de este análisis se concluye que el texto no aporta a los estudiantes elementos suficientes para guiar las actividades de indagación que se proponen, ni da referencias claras que permitan a los estudiantes saber si sus conclusiones son acordes a la teoría.

De acuerdo con la afirmación de Martínez y García (2003:244) con respecto a que “recientemente se ha puesto gran interés en los [procedimientos] que involucran habilidades cognitivo-lingüísticas, entre los que se cuentan la justificación y la argumentación”, se encontró que dos de las once actividades solicitan que el estudiante argumente sus respuestas. Sin embargo, sucede lo mismo que lo mencionado en cuanto a la elaboración de conclusiones: en el texto no hay elementos suficientes que orienten a los estudiantes en el proceso de argumentación.

La argumentación requiere de habilidades tales como describir, definir, resumir, explicar y demostrar (Revel, 2010:171), por lo que el estudiante requiere de un apoyo constante en el proceso, incluyendo información suficiente para construirla, y dado que en el LTG no se presenta

la información suficiente, el apoyo recae sólo en el docente y en la investigación que el estudiante haga al respecto, y esto puede ser detrimental para el proceso de aprendizaje si los estudiantes viven en un entorno en donde no existen más fuentes de información que el LTG, lo cual sucede en muchas localidades del país.

Independientemente de las modificaciones que hubo con respecto a los LTG, edición 2009, a partir de este análisis se llegó a la misma conclusión que Guerra y López (2011), en cuanto a que “la información sigue en el centro de la propuesta didáctica del libro de texto y apunta, tal vez sin que fuera una intención consciente de los autores, a una intensa formación de los alumnos como buscadores, aplicadores y comunicadores de información” (Guerra y López, 2011:463). Esto impide que los estudiantes desarrollen competencias cognitivo-lingüísticas complejas, tales como las que propician los procedimientos que involucran la argumentación y la justificación. Asimismo, tal como concluyeron Guerra y López, las actividades de aprendizaje propuestas en los LTG carecen de relevancia para que el estudiante comprenda el proceso de evolución biológica, además de adolecer de claridad y de indicadores de comprensión (Guerra y López, 2011:464). Si las preguntas que una actividad propone que el estudiante responda no están formuladas de manera clara, entonces darán pie a confusiones en los docentes y en los estudiantes, lo cual dificulta que se delimite adecuadamente la investigación propuesta en las actividades, e impide llegar a los propósitos planteados.

Como afirma Martínez Losada et al. (1999), “aunque la realización en el aula de un tipo u otro de actividades es responsabilidad del profesorado que, en función de los contenidos concretos que pretenda enseñar, ha de seleccionar las que considere más idóneas, en la práctica a menudo selecciona las que proponen los libros de texto” (Citado en Martínez y García, 2003:245). Dado lo anterior, la principal plataforma de desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas de los estudiantes serán los LTG, por lo que se sugiere que se haga una revisión de las actividades propuestas para asegurarse de que éstas contribuyan al desarrollo del pensamiento científico en los estudiantes y que entonces sean capaces de integrar “los conocimientos científicos de las ciencias naturales a sus explicaciones sobre los fenómenos y procesos naturales al aplicarlos en contextos y situaciones diversas”, como se plantea en el Programa de Estudios (SEP, 2011b:83).

4.1.4 Relación con el Programa de estudios

De acuerdo con el Programa de estudios 2011, las Ciencias Naturales se incluyen en el campo formativo de *Exploración y comprensión del mundo natural y social*, y la biología evolutiva corresponde al ámbito de *Biodiversidad y protección al ambiente*, en el que

... se plantea el reconocimiento de semejanzas o unidad y diferencias o diversidad de la vida. El análisis de estos procesos se asocia a la elaboración de explicaciones acerca de la existencia de seres vivos en diferentes ambientes; lo que permite acercarse a la noción de evolución en términos de cambio y adaptación en las características y funciones vitales, con base en las evidencias del registro fósil y en la diversidad de los seres vivos actuales (SEP, 2011b:98).

A partir del análisis de los LTG, se concluye que los contenidos presentes en dicho material no sustentan el desarrollo de un pensamiento evolutivo, y que por lo tanto no será a partir de ese material que los estudiantes puedan elaborar “explicaciones acerca de la existencia de seres vivos en diferentes ambientes” con base en los conceptos fundamentales de biología evolutiva. Por lo anterior, también se afirma que no se promueve que los estudiantes puedan “inferir algunas relaciones de adaptación que [los seres vivos] establecen con el ambiente” (SEP, 2011b:84), que es uno de los propósitos planteados en el Programa de estudios.

Asimismo, tras el análisis realizado, se puede afirmar que en el LTG se presenta a la biología evolutiva como un producto terminado, lo cual se contrapone al propósito de que los estudiantes “reconozcan la ciencia como una actividad humana en permanente construcción, con alcances y limitaciones” (SEP, 2011b:83).

En conclusión, los contenidos de biología evolutiva de los LTG no son coherentes con los propósitos que se plantean en el Programa de estudios relacionados con éste ámbito disciplinar. Aunado a eso, y sustentado por esta investigación, se afirma que los LTG analizados carecen de una adecuada transposición didáctica de la biología evolutiva, lo cual irá en detrimento de la comprensión de la biología evolutiva y del desarrollo de un pensamiento evolutivo en los estudiantes acorde con lo avalado por la comunidad científica.

Discusión

De acuerdo con Alters y Alters (2001), eliminar el estudio de la evolución biológica tiene como consecuencia la eliminación de la comprensión de la teoría unificadora de las ciencias biológicas, provocando que los hechos científicos carezcan de un eje conductor. Sin una adecuada comprensión de la evolución biológica, los estudiantes no podrán entender los procesos históricos de macro-evolución ni al mundo del que formamos parte. Los autores afirman que, de hecho, comprender el concepto de evolución biológica es fundamental para lograr una alfabetización científica (Alters y Alters, 2001. Citado en Alters, 2010:234).

Si bien en los LTG se incluye el tema de la evolución biológica y se presentan algunos conceptos de biología evolutiva, hay omisiones y errores conceptuales que impiden que el estudiante forme un marco conceptual que posibilite la correcta comprensión del proceso de cambio evolutivo. En otras palabras, la transposición didáctica de la biología evolutiva presente en el material analizado es una sobre-simplificada e incompleta, que propicia en los estudiantes el desarrollo de ideas distintas –y en ocasiones opuestas- a las avaladas por la comunidad científica.

A pesar de que desde edades tempranas los estudiantes tienen la capacidad de abstracción necesaria para comprender conceptos relativos a la evolución biológica⁸⁰ (Nadelson et al.,

⁸⁰ De acuerdo con la concepción piagetiana del desarrollo cognitivo, a edades tempranas los estudiantes no son capaces de comprender conceptos científicos abstractos. No obstante, Metz (1995) puso en evidencia

2009:458), de acuerdo con Hernández et al. (2009) los estudiantes “tienen una lógica del sentido común que simplifica el significado de las teorías, lo que conduce a la incorporación de significados equívocos que conforman una visión limitada de los procesos biológicos”, aunado a esto, “mantienen una visión teleológica que supone que los fenómenos naturales tienen una causa final que lo provoca, atribuyendo a los organismos una intención de mejora o de supervivencia para evolucionar”. Lo anterior explica en gran medida las concepciones alternativas que los estudiantes tienen acerca de la evolución biológica. Dichas concepciones alternativas forman parte de una estructura cognitiva que permite explicar de manera coherente situaciones en el contexto cotidiano, pero que no son deseables desde el punto de vista científico (Hernández et al., 2009:112).

Ahora bien, si los LTG son los primeros –y en muchos casos los únicos- textos de ciencia que los alumnos leen (Mares et al., 2006:884), sería de esperarse que sus contenidos presentaran una transposición didáctica que corresponda a lo planteado por el saber sabio. No obstante, los LTG analizados fomentan, de hecho, una visión simplificada y teleológica de la evolución biológica.

Por lo anterior, se concluye que lejos de fomentar la comprensión de una teoría unificadora que dé cuenta de procesos del mundo vivo, los LTG estimulan nociones erróneas en los estudiantes que obstaculizarán su alfabetización científica.

De acuerdo con McVaugh et al. (2011), es importante que la enseñanza de la evolución sea transversal, para que dé coherencia al conocimiento biológico que los niños van adquiriendo, y que no sea un conjunto de ideas segregadas, inconexas. Propone que a través de cuatro áreas nucleares, los estudiantes tendrán las bases para desarrollar una comprensión adecuada de la evolución biológica como hecho y de la biología evolutiva como teoría que la explica. Las cuatro áreas nucleares son: variación, selección, herencia y tiempo geológico (McVaugh et al., 2011:286).

En cuanto al concepto de *variación*, se ha demostrado que si los alumnos han comprendido las nociones básicas del concepto de variación desde pequeños, tendrán más oportunidad de profundizar más adelante en niveles conceptuales que implican una mayor demanda cognitiva. (Watson et al. 2007. Citado en McVaugh et al., 2011:289). Aunado a eso, es importante incluir el concepto de variación ya que, como afirman Hernández et al. (2009), es quizá “el más tangible de los conceptos de la biología evolutiva, el de existencia más concreta, observable y que puede resultar más significativo en la construcción de su aprendizaje” (Hernández et al., 2009:113). El concepto debe vincularse con las causas que dan origen al proceso de variación, por lo que será importante incluir el CF de *mutación* en los textos. Asimismo, la noción de contingencia permite mitigar una concepción teleológica de la evolución, por lo que el CF de *azar* deberá explicarse también en los LTG.

que, desde los cuatro años de edad, los estudiantes -con el apoyo adecuado- “están preparados para pensar y aprender acerca de relaciones causales y abstractas” (Metz, 1995. Citado en Nadelson et al., 2009:459), como las que conforman los procesos evolutivos.

El proceso de *selección natural* permite dar cuenta de la adaptación y de la diversidad biológica, e implica una explicación natural para los fenómenos naturales, por lo que es indispensable que los estudiantes comprendan el concepto adecuadamente, y sean capaces de vincularlo con el concepto de *población*. En palabras de Hernández et al. (2009), “la complejidad que entraña este concepto aunada a la importancia que tiene para entenderlo con profundidad y relacionarlo con otros conceptos centrales de biología evolutiva, demanda un esclarecimiento cognitivo ya que representa relaciones ‘invisibles’, a diferencia de la variación que es observable” (Hernández et al., 2009:113). Por lo anterior, es indispensable que se haga una adecuada transposición didáctica de este concepto en los LTG.

Se ha comprobado que los estudiantes mantienen la idea de que el motor del cambio biológico está regido por aquello que es necesario para los individuos. Entonces, es fundamental que se presente el concepto de *herencia* como el “vehículo a través del que puede ocurrir el cambio en las especies” (McVaugh et al., 2011:289) y que se le vincule con el CF de ancestro común.

En cuanto al concepto de *tiempo geológico*, permite entender a profundidad los procesos de *extinción*, *especiación* y *ancestro común*. Asimismo, “las dimensiones espacio temporales micro, meso y macro como referencia para el entendimiento de los procesos evolutivos son centrales” y “al carecer la enseñanza y el aprendizaje de referentes espacio temporales, la ciencia escolar se repite sin anclaje, sin significado, sentido y ubicación reales” (Hernández et al., 2009:113). Se propone en la presente tesis que esta área nuclear se refuerce en los LTG con una imagen de árbol filogenético, ya que en ellos se plasma el concepto de tiempo, lo que históricamente “dio pie a reconocer la evolución biológica como un hecho natural” (Gontier, 2011:515) y refleja las relaciones filogenéticas de manera más precisa y adecuada que la representación lineal que se presenta en la imagen⁸¹ de la página 53 del LTG.

Hay estudios que demuestran que los conceptos que sobre la ciencia se tienen, se comienzan a desarrollar en los estudiantes desde edades tempranas (Kelemen, 1999. Citado en Nadelson et al., 2009:459), y que éstos tienden a presentar resistencia a las explicaciones que difieran de la concepción que han desarrollado (Au et al. 2008; Solomon and Johnson 2000. Citados en: Nadelson et al., 2009:459). Por lo anterior, será de suma importancia que los conceptos de biología evolutiva presentados a los estudiantes en los grados básicos de la educación, sean producto de una adecuada transposición didáctica de ésta, sin recurrir a la sobre-simplificación, aunque sí adecuándolos a la edad de los estudiantes⁸².

⁸¹ Analizada en la sección 4.1.2 de esta tesis.

⁸² Hay conceptos científicos que requieren de años de estudio para comprenderlos a profundidad, no obstante, pueden ser introducidos a los estudiantes durante la educación básica si se los explica reduciéndolos a sus componentes más básicos (Nadelson et al., 2009:459), aunque no por esto deba de hacerse una sobre-simplificación de los mismos.

Por lo anterior, se propone que las cuatro áreas nucleares *indispensables* que deben presentarse en los LTG, son: variación, selección, herencia y tiempo geológico. No obstante, se considera que el resto de los conceptos presentados en la sección 1.1.2.1 son también fundamentales para la enseñanza-aprendizaje de la biología evolutiva, y que deben interrelacionarse con las cuatro áreas nucleares en los LTG. Esto deberá hacerse basado en estructuras conceptuales, bajo un marco disciplinar, pedagógico y didáctico adecuado a la edad de los estudiantes y que favorezca el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Al final de cada Bloque, en los LTG se propone la realización de un Proyecto. En el caso del Bloque II, el Proyecto se titula “Mejoremos nuestro ambiente”, abocándose por completo en “los efectos de las acciones humanas en el ambiente, con el fin de plantear propuestas que mejoren las condiciones ambientales” (Cervera et al., 2011:78) y dejando de lado cualquier noción de biología evolutiva. Si, como afirman García y Flores (1999),

El uso de actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias naturales desarrolla el ingenio, la creatividad y la imaginación, propicia la investigación, desencadena inquietudes y promueve una actitud positiva hacia la ciencia, lo que redundará en un buen desarrollo de los aprendizajes y la construcción del conocimiento científico (García y Flores, 1999:117)

entonces será importante una reformulación de las actividades que se proponen en el libro y que se incorporen a éstas actividades experimentales que fomenten el desarrollo de las competencias antes mencionadas. Si se desea –tal como se plantea en el Perfil de Egreso- que los estudiantes sean capaces de interpretar y explicar procesos naturales, entonces será necesario que las actividades de aprendizaje estén diseñadas para realmente fomentar estas competencias. Dado lo anterior, se sugiere que el Proyecto del Bloque II esté relacionado con el reforzamiento del aprendizaje de la biología evolutiva a través de alguna actividad experimental que permita a los estudiantes el reforzamiento del aprendizaje y fomente en ellos el desarrollo de competencias que se plantean en la RIEB.

Conclusiones

La Teoría sintética de la evolución biológica enmarca a la fuente de conocimientos validado por la ciencia y seleccionada para enseñarse en las aulas, por lo que la presencia de conceptos de biología evolutiva deberá estar respaldada por un profundo y preciso conocimiento de la misma. Aunado a esto, deberá hacerse una transposición didáctica que refleje en el saber a enseñar una estrecha relación con los planteamientos del saber sabio, sin recurrir a la sobre-simplificación o a la tergiversación de éstos.

Es a través de la enseñanza-aprendizaje de conceptos que se organizan los conocimientos y se posibilita la comprensión del mundo vivo. Como consecuencia, será importante que los procesos

de enseñanza/aprendizaje dentro del aula se fundamenten en conceptos, mismos que deberán estar contenidos en los LTG. Tal como afirman Hernández et al. (2009)

Sólo si esclarecemos y relacionamos los conceptos evolutivos clave, identificamos y resolvemos eficazmente los obstáculos epistemológicos desde la disciplina, ahondamos en la filosofía evolutiva y la historia de la construcción de esta disciplina y desplegamos estrategias didácticas coherentes con estos fundamentos, obtendremos resultados educativos satisfactorios en relación con los contenidos de biología evolutiva que impacten positivamente a los sujetos en su formación científica, en su vida cotidiana y en su participación social (Hernández et al., 2009:118).

Hay cuatro áreas nucleares que permitirán la adecuada comprensión de la biología evolutiva, a saber: variación, selección natural, herencia y tiempo geológico. Es importante que dichas áreas se presenten de manera adecuada a la edad de los estudiantes, y que a su vez se relacionen entre sí y con los demás conceptos fundamentales de biología evolutiva, posibilitando la construcción de una estructura conceptual sólida en los estudiantes, que sienta las bases para su comprensión del mundo vivo. Cabe mencionar que todos los elementos presentes en un libro de texto deben servir como sustento de lo que se quiere comunicar. Como consecuencia, es de suma importancia elegir de manera cuidadosa las imágenes y las actividades que complementarán el texto.

González (2012) afirma que los LTG “son herramientas pedagógicas que amplían la información, compensan deficiencias y son más económicos si se comparan con otros costos educativos” (González, 2012, s/p). Sin embargo, el LTG analizado en esta tesis, muestra que a través de uso exclusivo, no se podrán subsanar las deficiencias y errores conceptuales de los estudiantes, por lo que se requiere de una reestructuración de sus contenidos con base en una plataforma disciplinar sólida, aunada a fundamentos didácticos y pedagógicos que vayan acorde con las necesidades de los estudiantes.

La Reforma Educativa vigente se sustenta en un modelo educativo basado en competencias, que deberán ser fomentadas en el contexto escolar para que los estudiantes continúen desarrollándolas a lo largo de su vida. Con base en el análisis realizado, se concluye que el LTG no propicia de manera adecuada el desarrollo de competencias relacionadas con el manejo de la información, pues el texto y las actividades del LTG carecen de elementos que guíen de manera adecuada su búsqueda y análisis. Asimismo, el LTG debe ser un recurso didáctico que, mediado por la labor del docente, fomente una actitud crítica en los estudiantes que les permita cuestionar la información que se les presente y que esta actitud favorezca competencias que le permitan al estudiante aplicar los conocimientos de manera adecuada en la vida cotidiana.

Cabe mencionar que si los LTG son los únicos textos de ciencia que los estudiantes tendrán por seguro, entonces en ellos debe de haber una plataforma disciplinar y didáctica que fomente en los estudiantes el desarrollo de habilidades metacognitivas, de un pensamiento científico y que posibilite su comprensión de los fenómenos naturales. De esta manera, habrá una mayor probabilidad de que se alcancen los propósitos en los Planes y Programas de estudios relacionados con las ciencias naturales.

La RIEB enfatiza la importancia de que los estudiantes desarrollen un *pensamiento científico*, sin embargo en los Programas de estudio, la evolución biológica no ocupa un lugar privilegiado. Por lo anterior, resulta necesario hacer hincapié en el papel fundamental que tiene comprender la evolución biológica en aras de entender bajo una perspectiva científica los procesos del mundo vivo. Si se pretende que los alumnos desarrollen un pensamiento científico, entonces esta pretensión debe reflejarse en los temas eje de los Programas de estudio, siendo de suma importancia la inclusión de la biología evolutiva como tema articulador de las ciencias biológicas.

A pesar de haber encontrado modificaciones importantes con respecto a la edición 2009 (como también afirman Guerra y López, 2011:447), los LTG siguen careciendo de una estructura disciplinar y didáctica que propicie un adecuado proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por último, se rescata la vigencia, profundidad e importancia de las palabras de Barriga (2011:361)

Mientras los LTG sean los encargados de llevar el conocimiento a nivel nacional y mientras estén dentro de las altas expectativas de mejoría social que generan, requieren, necesitan, deben ser estudiados, analizados, criticados con rigor y con seriedad, a riesgo de seguir oyendo con escepticismo, indiferencia o enorme indignación que los niños de México salen en los lugares más bajos de las evaluaciones internacionales y nacionales. ¿Dónde queda, entonces, el conocimiento esperanzador, liberador, que presagiaba hace cincuenta años Torres Bodet?

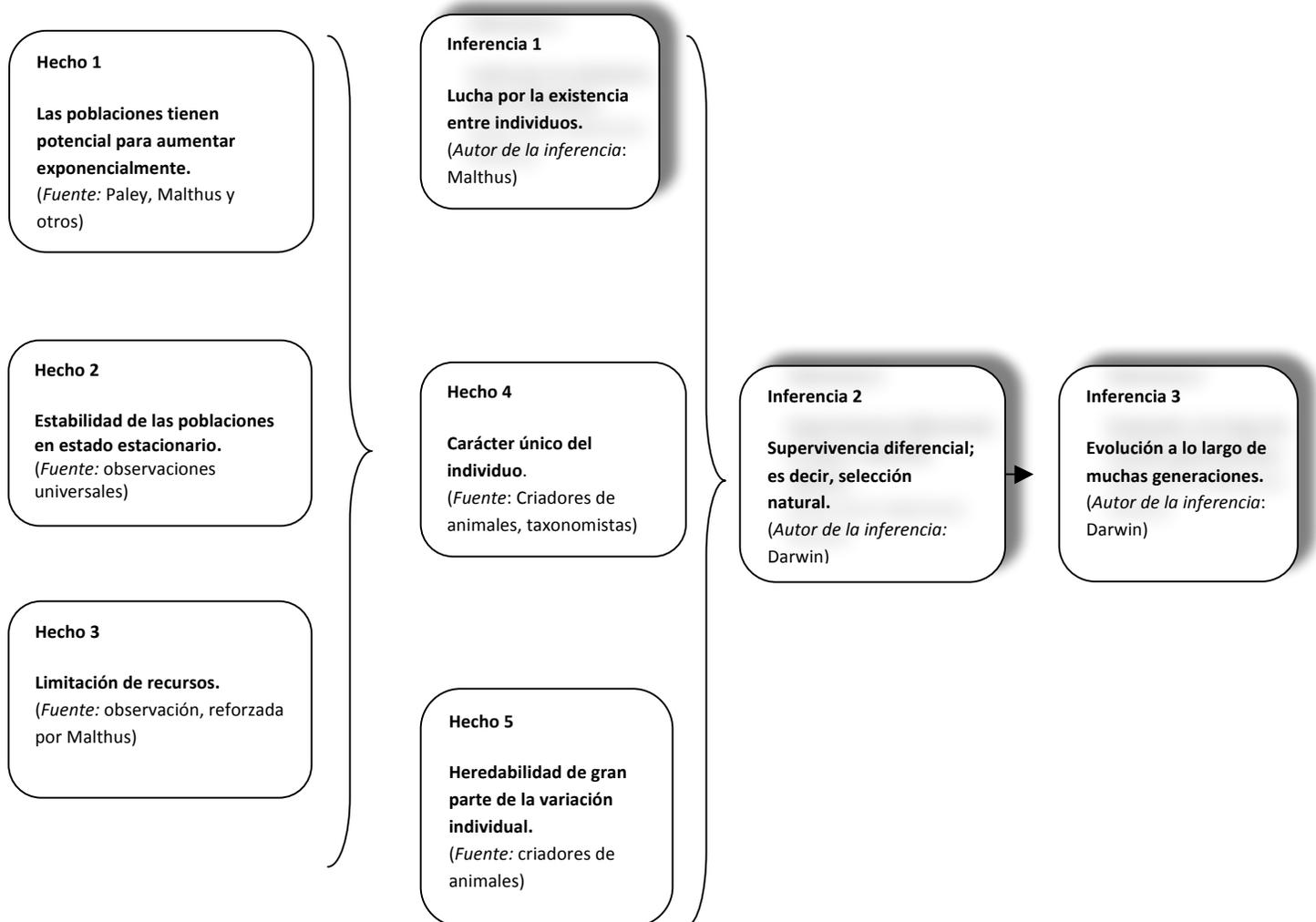
Los LTG responden a un proyecto político que en la actualidad favorece un aprendizaje por competencias que, sin embargo, a través de los materiales educativos lejos de preparar a los estudiantes para un desarrollo integral, parece prepararlos para un ámbito laboral que no implique habilidades cognitivas complejas. Si la noción de competencias parece volver a los orígenes del concepto –en cuanto a la preparación para ámbitos laborales-, ¿qué tipo de seres humanos están fomentando los LTG vigentes?

El tema de análisis de esta tesis se centró únicamente en los contenidos de biología evolutiva presentes en los LTG de Ciencias Naturales para Sexto Grado de Educación Básica, y lejos de responder todos los cuestionamientos con respecto a estos materiales educativos, dejó abierta la puerta a muchos más. Queda por estudiar la percepción que tienen los estudiantes y los docentes acerca de estos recursos didácticos, el uso que se les da en las aulas, las competencias cuyo desarrollo fomentan y los vacíos de aprendizaje que provocan, entre otros, que podrán ser objeto de futuras investigaciones. También queda abierta la posibilidad (y el gran interés) de elaborar una propuesta formal para la enseñanza-aprendizaje de biología evolutiva en sexto año de educación primaria.

Anexos

Anexo 1:

Esquema de hechos e inferencias mediante los que Darwin construyó la teoría de evolución por Variación y Selección Natural (Tomado de Mayr, 2005:208).



Anexo 2: Mapa curricular de la Educación Básica, 2011

MAPA CURRICULAR DE LA EDUCACIÓN BÁSICA 2011

ESTÁNDARES CURRICULARES ¹		1º PERIODO ESCOLAR			2º PERIODO ESCOLAR			3º PERIODO ESCOLAR			4º PERIODO ESCOLAR		
CAMPOS DE FORMACIÓN PARA LA EDUCACIÓN BÁSICA	Preescolar			Primaria						Secundaria			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	
LENGUAJE Y COMUNICACIÓN	Lenguaje y comunicación			Español						Español I, II y III			
			Segunda Lengua: Inglés ²	Segunda Lengua: Inglés ²						Segunda Lengua: Inglés I, II y III ²			
PENSAMIENTO MATEMÁTICO	Pensamiento matemático			Matemáticas						Matemáticas I, II y III			
EXPLORACIÓN Y COMPRENSIÓN DEL MUNDO NATURAL Y SOCIAL	Exploración y conocimiento del mundo			Exploración de la Naturaleza y la Sociedad			Ciencias Naturales ³			Ciencias I (énfasis en Biología)	Ciencias II (énfasis en Física)	Ciencias III (énfasis en Química)	
	Desarrollo físico y salud						La Entidad donde Vivo			Geografía ³			Tecnología I, II y III
										Historia ³			Geografía de México y del Mundo
DESARROLLO PERSONAL Y PARA LA CONVIVENCIA	Desarrollo personal y social			Formación Cívica y Ética ⁴						Formación Cívica y Ética I y II			
				Educación Física ⁴						Tutoría			
	Expresión y apreciación artísticas			Educación Artística ⁴						Educación Física I, II y III			
									Artes I, II y III (Música, Danza, Teatro o Artes Visuales)				

En esta imagen puede observarse, en sentido horizontal, la secuencia y gradualidad de las asignaturas acordes a los cuatro periodos escolares, representados en el eje vertical (Tomado de: SEP, 2011a:41).

Anexo 3: Tabla de contenidos del LTG de Ciencias Naturales, Sexto Grado, edición 2013 (Cervera et al (2011).

Índice

Presentación	3
Conoce tu libro	4
Bloque I ¿Cómo mantener la salud?	9
Ámbitos: El ambiente y la salud; La vida; El conocimiento científico	
Tema 1 Coordinación y defensa del cuerpo humano	11
Tema 2 Etapas del desarrollo humano: la reproducción	30
Tema 3 Implicaciones de las relaciones sexuales en la adolescencia	36
Proyecto Nuestra sexualidad.....	44
Evaluación.....	48
Autoevaluación	49
Bloque II ¿Cómo somos los seres vivos?	51
Ámbitos: La vida; El ambiente y la salud	
Tema 1 Cambios en los seres vivos y procesos de extinción	53
Tema 2 Importancia de las interacciones entre los componentes del ambiente	66
Tema 3 Relación de la contaminación del aire con el calentamiento global y el cambio climático	72
Proyecto: Mejoremos nuestro ambiente	78
Evaluación.....	80
Autoevaluación	81

Bloque III ¿Cómo transformamos la Naturaleza?	83
---	----

Ámbitos: Los materiales; La tecnología

Tema 1 Relación entre las propiedades de los materiales y su consumo responsable	84
Tema 2 Importancia de las transformaciones temporales y permanentes de los materiales	93
Tema 3 Aprovechamiento e identificación del funcionamiento de las máquinas simples	100
Proyecto: Reúso y reciclado de los materiales	106
Evaluación.....	108
Autoevaluación	109

Bloque IV ¿Cómo se transforman las cosas?	111
---	-----

Ámbitos: El cambio y las interacciones; La tecnología

Tema 1 Aprovechamiento de la formación de imágenes en espejos y lentes	113
Tema 2 Importancia de la energía, su transformación e implicaciones de su uso	126
Tema 3 Aprovechamiento de la energía	131
Proyecto: Construcción de artefactos para satisfacer necesidades	140
Evaluación.....	142
Autoevaluación	143

Bloque V ¿Cómo conocemos?	145
---------------------------------	-----

Ámbitos: El cambio y las interacciones; La tecnología

Tema 1 Conocimiento de las características del Universo	146
Proyecto: Caminos para la convivencia y la reflexión	164
Evaluación.....	168
Autoevaluación	169
Bibliografía.....	170

Referencias

Alters, B. (2010) Apprehension and Pedagogy in Evolution Education. *Evo Edu Outreach* Vol. 3, pp.231–235.

Anzures, T. (2011) El Libro de Texto Gratuito en la actualidad: Logros y retos de un programa cincuentenario. *Rev. Mexicana de Investigación Educativa (RMIE)*, Vol. 16, Núm. 49, pp. 363-388.

Astolfi, J.P. (2001) *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Díada.

Barriga, R. (2011) Clarososcuros de los Libros de Texto Gratuitos a medio siglo de su aparición. *RMIE*, Vol. 16, Núm. 49, pp. 353-362.

Cardelli, J. (2004) Reflexiones críticas sobre el concepto de Transposición Didáctica de Chevallard *Cuadernos de Antropología Social* N° 19, pp. 49-61.

Cervera, N., Huesca, G., Martínez, L., Portilla, A., Solís, A., Rodríguez, J., Luna, L. (2011) *Ciencias Naturales. Sexto Grado*. Ciudad de México: SEP.

Chevallard, Y. (1989) On didactic transposition theory: some introductory notes. *Communication à l'International Symposium on Selected Domains of Research and Development in Mathematics Education* (Bratislava, 1989), pp. 51-62.

Darwin, Ch. (1859) [2000] *El origen de las especies*. México: Porrúa

Dawkins, R. (2009) *The greatest show on Earth*. (Edición de libro electrónico). Londres: Free Press.

Díaz Barriga, Á. (2006) El enfoque de competencias en la educación. *Perfiles educativos*, Vol.28, Núm.111, pp.7-36.

Dobzhansky, T. (1973) Nothing in Biology makes sense except in the light of Evolution. *The American Biology Teacher*. Vol. 35, pp.125-129.

Fail, J., (2008) A No-Holds-Barred Evolution Curriculum for Elementary and Junior High School Students. *Evo Edu Outreach*. Vol. 1, pp.56–64.

Folguera, G. y G. Galli, L. (2012) La extensión de la síntesis evolutiva y los alcances sobre la enseñanza de la teoría de la evolución. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza* Vol.5, Núm. 9, pp. 4-18.

Futuyma, D. (2005) *Evolution*. Sunderland: Sinauer.

García, B. (2006) Portadas de Libros de Primaria de Texto Gratuitos de la Secretaría de Educación Pública (SEP) de 1960 a 2000). Tesina (Diseño Gráfico) ENAP, UNAM, México.

- García, M., y Flores, R. (1999) Actividades experimentales para la enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica. *Perfiles educativos*. Vol.21, Núm. 83-84, pp.105-118.
- Garza, A. y Morales, M. (2009) La educación básica en México en el 2009: año de la evolución. En *Jornadas didácticas de Biología Evolutiva*. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Gontier, N. (2011) Depicting the Tree of Life: the Philosophical and Historical Roots of Evolutionary Tree Diagrams. *Evo Edu Outreach* Vol. 4., Núm. 3, pp.515–538.
- G. Galli, L. (2011) *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Extraído de: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4961_GonzalezGalli.pdf en febrero de 2013
- González, G. (2012) Una mirada en torno a los libros de texto gratuitos. *Educ@upn.mx. Revista Universitaria*. Núm.10. Obtenido en: <http://educa.upn.mx/hecho-en-casa/num-10/95-una-mirada-en-torno-a-los-libros-de-texto-gratuitos> en abril de 2013
- Gould, S.J. (2004) *La estructura de la teoría de la evolución*. Barcelona: Tusquets
- Greaves, C. (2001) Política educativa y Libros de Texto Gratuito. Una polémica en torno al control por la educación. *RMIE*. Vol.6, Núm.12, pp.205-221.
- Guerra, M. y López, D. (2011) Las actividades incluidas en el Libro de Texto para la enseñanza de las Ciencias Naturales en Sexto Grado de Primaria. *RIEM* Vol. 16, núm. 49, pp.441-470.
- Hernández, C. (2002) *La historia de la enseñanza de la teoría de la selección natural*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Hernández, D., Flores, J., Echavarría, L. (2011) Sin pecado concebido: Sida y embarazo en el libro de sexto de ciencias naturales. *RMIE*, Vol. 16, Núm. 49, pp. 471-488.
- Hernández, M., Álvarez, E., y Ruiz, R. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma. *Teorema*, Vol.28, Núm. 2, pp.107-121.
- Hernández, V. (2011) *Tipos y causas de la variación biológica: un análisis conceptual*. Tesis (Licenciatura en Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Ibarra, J., y Gil, M. (2005) Enseñar los cambios ecológicos en la secundaria: un reto en la transposición didáctica. *Enseñanza de las ciencias* 23(3), pp.345-355.
- Jiménez, J. y Perales, F. (2002) La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 1, Núm.2, pp.114-129. Obtenido en: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen1/REEC_1_2_5.pdf en junio de 2013
- Jiménez, L. (Coord.) (2007) *Conocimientos fundamentales de biología*. México: Pearson Educación.

Kimura, M. (1983) *The neutral theory of molecular evolution*. New York: Cambridge University Press.

Labastida, J., y Ruiz, R. (Coords.) (2010) Enciclopedia de conocimientos fundamentales, Tomo 4. México: UNAM-Siglo XXI.

Maciel, S. (2005) *Concepciones sobre evolución biológica de estudiantes de la Licenciatura en Educación Primaria de la Benemérita Escuela Nacional de Maestros*. Tesis (Licenciatura en Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México

Mares, G., Rivas, O., Pacheco, V., Rocha, H., Dávila, P., Peñalosa, I., Rueda, E. (2006) Análisis de lecciones de enseñanza de biología en primaria. *RMIE*, Vol.11, Núm.30, pp.883-911.

Martínez, C. y García, C. (2003) Las actividades de primaria y ESO incluidas en los libros escolares. ¿Qué objetivo persiguen? ¿Qué procedimientos enseñan? *Enseñanza de las ciencias*. Vol. 21, Núm. 2, pp. 243-264.

Mayr, E. (2005) *Así es la biología*. Barcelona:Debate.

Mayr, E. (2004) *What makes Biology unique?* Nueva York: Cambridge University Press.

Mayr, E. (2001) *What Evolution is*. Nueva York: Basic Books.

Mayr, E. (1987) *Algunas ideas sobre la Historia de la Síntesis Evolutiva*. Edición y traducción de Adolfo Olea Franco y Francisco Castro Rivera. Facultad de Ciencias, UNAM.

McVaugh, N., Birchfield, J., Lucero, M. y Petrosino, A. (2011) Evolution Education: Seeing the Forest for the Trees and Focusing Our Efforts on the Teaching of Evolution. *Evo Edu Outreach*, 4, 286-292.

Nadelson, L., Rex, C., Bunn, S., Burkhart, R., Sheltar, R., Nixon, K., Waldron, J. (2009) Teaching Evolution Concepts to Early Elementary School Students. *Evo Edu Outreach*. Vol.2, pp.458-473.

Novak, J. (1978) El proceso de aprendizaje y la efectividad de los métodos de enseñanza. *Perfiles Educativos*, Núm. 1, pp.10-31

Revel, A. (2010) Hablar y escribir ciencias. En: Meinardi, E., González, L., Revel, A. y Plaza, M. *Educar en ciencias*. Buenos Aires: Paidós, pp.163-190.

Robles, R. (2011) *La Reforma Integral de la Educación Básica de primaria: un acercamiento al modelo educativo basado en competencias*. Tesina (Licenciatura en Pedagogía), Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Pedagogía, UNAM, México.

Ruiz, R. y Ayala, F. (2002) *De Darwin al DNA y el origen de la humanidad: la evolución y sus polémicas*. Ediciones Científicas Universitarias. UNAM y FCE: México D.F.

Ruiz, R. y Ayala, F. (2008) El núcleo duro del darwinismo. En: Llorente (comp.) et al. *Fundamentos históricos de la biología*. México, UNAM, Secretaría de Desarrollo Institucional: Facultad de Ciencias: Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, pp. 455-481.

SEP (2011a) *Plan de Estudios 2011, Educación Básica*. SEP:México

SEP (2011b) *Programas de Estudio/Guía para el maestro 2011, Educación Básica. Primaria, Sexto grado*. SEP:México.

SEP (2007) *Programa Sectorial de Educación 2007-2012*, México D.F.

SEP (1992): *Acuerdo nacional para la Modernización para la Educación Básica*, México D.F.

Simón, V. (2000) La conciencia humana: integración y complejidad. *Psicotherma*. Núm. 1, Vol. 12, pp. 15-24

Solís, M. (2012) *De la imagen al recurso didáctico en Biología: una guía teórico-práctica*. Tesis de maestría (MADEMS. Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Valladares, L. (2002) *Evolución histórica de las ideas científicas sobre el origen de la vida y su relación con el cambio conceptual de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato*. Tesis (Licenciatura en Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Vargas, N. (2011) La historia de México en los Libros de Texto Gratuito: Evidencia de las transformaciones en los modelos de integración nacional. *RMIE*. Vol. 16, Núm. 49, pp. 489-523.

Villa Lever, L. (2012) Flujos de saber en cincuenta años de Libros de Texto Gratuitos de Historia: Las representaciones sobre las desigualdades sociales en México. *desiguALdades.net* Núm. 32, 31 pp. Obtenido en: http://www.desigualdades.net/bilder/Working_Paper/32_WP_Villa_Online.pdf en mayo de 2013