

00381



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

26

"LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LA TEORIA DE LA SELECCION NATURAL"

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

P R E S E N T A :

M. EN C. MA. CRISTINA HERNANDEZ RODRIGUEZ

DIRECTORA DE LA TESIS: DRA. ROSAURA RUIZ GUTIERREZ



MEXICO, D. F.

2002.



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.

" Es impredecible, intangible y desafía sin esfuerzo alguno a la estadística y a la probabilidad; es el que nos deja sin palabras ni explicación alguna, el que no se somete ante la paciente seducción del método científico. Cómodamente se aloja en el interior de las células o viaja con desenfado entre los planetas. Así es el azar, que nunca nos da respuestas sino propuestas. El azar que esta por dentro y fuera de nosotros, que no se toca, que no se ve ni se escucha, pero, si puede, nos da la vida"

Filiberto Álvarez.

A Filiberto.

El hombre que con manos artesanas construye diariamente a nuestra familia.

A Emiliano y Carolina.

Mis hijos, las bellísimas propuestas que el azar me ofreció.

A Cristina y Gilberto.

A mis hermanos, a sus hijos y compañeros.

Al Dr. Salvador Álvarez Salgado.

A Rafael Serrano Velásquez.

A la porra libre.

Agradecimientos

Siempre son innumerables las personas que posibilitan la culminación de un trabajo, entre las más importantes no puedo dejar de mencionar a las siguientes:

A la Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez por los años de trabajo compartido, por su apoyo incondicional, por introducirme en el campo de la Historia de la Biología.

Al Dr. Miguel Angel Campos y al Dr. Sergio Martínez Muñoz, miembros de mi Comité Tutorial, por guiar el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Ana Rosa Pérez Ranzanz, la Dra. Laura Suárez y López Guazo, al Dr. Juan Núñez Farfan y al Dr. Fedro Guillén Rodríguez, por las importantes observaciones hechas al presente documento.

A los profesores de los cursos.

A Rafael Serrano por ayudarme, como siempre, en la tarea de terminar.

A Ma. Antonia Olmos por el apoyo en el procesamiento de los datos, por los años compartidos.

A CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.	1
I. LA HISTORIA Y LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN.	13
1. La enseñanza tradicional de la ciencia.	13
2. La historia y la epistemología como enfoque de enseñanza.	20
II. EL SURGIMIENTO DE LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL. ANTECEDENTES Y ALGUNOS AVANCES POSTERIORES.	31
1. Introducción.	31
2. El transformismo de Lamarck.	33
3. Carlos Darwin y el surgimiento de la Teoría de la Evolución por Selección Natural.	38
4. Después de Darwin.	54
5. Consideraciones generales sobre el desarrollo del evolucionismo.	67
III. LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO ESCOLAR.	69
1. El contexto en el que se da el proceso de enseñanza-aprendizaje.	69
2. El aprendizaje de la ciencia desde la perspectiva del constructivismo.	74
IV. LA COMPRESIÓN DEL EVOLUCIONISMO EN LA ESCUELA.	88
1. Introducción.	88

2. Concepciones evolutivas de los estudiantes: algunos estudios reportados.	89
3. Concepciones evolutivas de los estudiantes de la Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.	94
IV. LAS PRINCIPALES CONCEPCIONES EVOLUTIVAS ALTERNATIVAS.	141
1. Concepciones alternativas fundamentales.	141
2. Dos enfoques para explicar las concepciones evolutivas de los estudiantes.	152
V. CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS PARA ABORDAR LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL.	169
1. Introducción.	169
2. Criterio disciplinario.	173
3. Criterio psicopedagógico.	178
4. Criterio histórico-epistemológico.	181
5. Una propuesta de estrategia de enseñanza de la Teoría de la Selección Natural.	190
VI. CONSIDERACIONES FINALES.	197
VII. BIBLIOGRAFÍA.	205
ANEXO 1.	214
ANEXO 2.	219

INTRODUCCIÓN.

El aprendizaje de las disciplinas científicas constituye uno de los problemas más complejos en el campo de la educación. Un sin fin de experiencias muestran que la escuela no logra cabalmente el objetivo de hacer comprender a los estudiantes, los conceptos y las teorías científicas de un campo determinado de conocimiento. Los problemas comunes encontrados están relacionados con la gran dificultad para los alumnos de modificar sus ideas previas y de asimilar nuevas concepciones que les permitan interpretar adecuadamente los contenidos científicos que se le enseñan en la escuela; la gran cantidad de temas que están definidos en los contenidos escolares, que hace que muchos de ellos sean analizados de manera superficial; la falta de formación de los profesores; la carencia de condiciones de estudio y de trabajo tanto para los estudiantes como para los académicos, entre muchos otros aspectos.

En el ámbito de la Biología, el estudio de los problemas que existen en el aprendizaje de las teorías evolucionistas, ha tenido un importante desarrollo durante los últimos años. El interés en este programa de investigación se debe a que el evolucionismo constituye uno de los marcos teóricos unificadores del conocimiento biológico, cuyos planteamientos tienen importantes implicaciones en diversos ámbitos de estudio de lo vivo. Muchos autores retomando la frase de Dobzansky (1973) "En biología nada tiene sentido si no se considera bajo el prisma de la evolución", destacan la importancia que tienen los conceptos y teorías evolutivas para comprender los distintos aspectos que tienen que ver con los fenómenos biológicos.

Esto no significa que otras áreas de conocimiento, como la física o la química, no sean relevantes en las explicaciones científicas y, por tanto, relevantes para los aprendices de biología; la importancia del evolucionismo radica en que es un eje conceptual

fundamental para comprender todos los fenómenos biológicos, ya que da cuenta de uno de los procesos esenciales de los seres vivos: la transformación de las especies.

El proceso evolutivo puede ser abordado desde distintas perspectivas: moleculares, genéticas, ecológicas, filogenéticas, geológicas, entre otras. Esto hace que el evolucionismo sea un programa de investigación muy complejo, debido a que involucra muchos tipos de explicaciones, objetos de estudio, así como enfoques teóricos y metodológicos. Sin embargo, a pesar de que existe una gran diversidad de enfoques para abordarlo y de las controversias que en torno a los mecanismos evolutivos se han generado desde la publicación del *Origen de las especies*, donde Carlos Darwin plantea las bases del evolucionismo contemporáneo, hay consenso al considerar que el núcleo duro de esta disciplina lo constituye el mecanismo de la selección natural.¹

Así, se plantea que el cambio de las especies está dado por dos procesos fundamentales: la producción azarosa de la variación, dada por mutaciones o por recombinación genética; y, el mantenimiento de ésta mediante el mecanismo de la selección natural. Esto significa que la variación aparece de manera espontánea dentro de una población, su carácter adaptativo depende de las condiciones específicas del medio en que se presenta. Por ello, se habla de un proceso en el que intervienen el azar y la necesidad, es decir, el surgimiento de las variaciones sin relación con las necesidades del organismo, seguida por una acción determinista de la selección natural.

¹ Lakatos en Lakatos y Musgrave (1975) plantea que los programas de investigación se caracterizan por poseer un "núcleo duro" y un conjunto de hipótesis auxiliares que forman un cinturón protector en torno a él. El cinturón protector, que recibe los impactos de las contrastaciones, puede ser ajustado y reajustado, incluso ser sustituido con el propósito de defender al núcleo duro. Pero, este núcleo es irrefutable por decisión metodológica de sus defensores y las anomalías sólo pueden originar cambios en las hipótesis auxiliares. En este sentido, el núcleo duro es el que guía el desarrollo del programa de investigación, desde el punto de vista teórico y metodológico.

Carlos Darwin en 1859 llama selección natural a la preservación de las variaciones favorables y la supresión de las desfavorables. Considera que la selección natural no puede hacer nada sin el surgimiento de variaciones. La selección natural no provoca los cambios, pero sí orienta la transformación de los seres vivos favoreciendo a los individuos que presentan variaciones que les confieren alguna ventaja, ya que una variación por pequeña que sea, puede ser la diferencia entre la sobrevivencia y la muerte y entre la posibilidad de dejar descendencia o no (Darwin, 1994).

Otro aspecto importante de la teoría de la selección natural es su enfoque poblacional, es decir, la consideración de que las poblaciones evolucionan porque en algunos de sus miembros aparecen variaciones que les confieren alguna ventaja adaptativa con respecto a los demás. La aparición espontánea de una variación es una condición necesaria para el cambio; el paso siguiente es la acción de la selección natural que da como resultado la adaptación diferencial de los organismos que conforman las poblaciones, basada en dichas variaciones individuales.

A pesar de que han existido las polémicas pasadas y recientes respecto a los mecanismos evolutivos, se sigue pensando que la teoría de la selección natural constituye una de las explicaciones centrales acerca del proceso evolutivo, por lo que es fundamental para lograr la comprensión de la evolución de las especies en un contexto más amplio.

En el campo educativo, un número significativo de trabajos muestra que existe una gran dificultad para que los alumnos logren comprender planteamientos centrales. Las investigaciones realizadas en este sentido revelan la existencia de numerosas concepciones acerca del proceso evolutivo que no son válidas desde el punto de vista científico y, aún en estudiantes universitarios, persisten después de la instrucción

formal en el tema. Algunos trabajos indican que los estudiantes encuentran que la evolución es un concepto difícil y pocos son capaces de aplicar el concepto de selección natural en situaciones ambientales comunes.

Las explicaciones evolutivas de los estudiantes representan una compleja mezcla de ideas relacionadas con la evolución lamarckiana, la teoría darwiniana y un razonamiento teleológico, que son altamente resistentes al cambio (Settlage y Jensen, 1996).

Brumby (1984) reporta una importante tendencia en estudiantes de medicina de primer año a usar la idea lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos para explicar la transformación de las especies. Bishop y Anderson (1990) encontraron que virtualmente ninguno de los estudiantes de un curso universitario de biología, entendía los conceptos centrales del mecanismo de la selección natural, ni el 88% de los que ya habían tomado cursos de biología. Jungwirth (1975) citado por Grenne (1990) encontró que uno de cada tres estudiantes universitarios de agronomía optaban por explicaciones teleológicas de los fenómenos evolutivos.

A partir del análisis de las respuestas de 322 estudiantes universitarios, Greene (1990), encontró que el 3% tiene una interpretación válida de la selección natural. El 33% tiene un pensamiento funcional que incluye un enfoque tipológico y el 17% de los estudiantes emplean una explicación lamarckiana. Estos datos concuerdan con los resultados de Brumby (1984) quien reporta que del 14% al 67% de estudiantes de primer año de medicina entienden la idea de la selección natural dependiendo del problema que se les plantee. Bishop y Anderson (1990) plantean que los estudiantes universitarios con los que realizaron su estudio, virtualmente no entienden como los cambios en la población son generados; ni cual es el papel de las variaciones en el proceso evolutivo; tampoco conciben a la evolución de las especies como cambios poblacionales.

Una idea común de los alumnos respecto a la evolución de las especies, revela que atribuyen este proceso a la intención deliberada de los organismos individuales, que cambian por necesidad o por el mayor uso o desuso de ciertas partes (Brumby, 1979, 1984; Greene, 1990; Bishop y Anderson, 1990; Settlage, 1994; Settlage y Jensen, 1996; Jiménez, 1994). Otros aspectos importantes se refieren a la falta de claridad respecto a la aparición de las variaciones en los seres vivos; la dificultad para comprender ideas como la adaptación y problemas para comprender las diferentes escalas de tiempo. Un factor significativo en la mayor parte de estos estudios es que los estudiantes no cuentan con un pensamiento poblacional, lo cual como se analizará en este trabajo, tiene grandes implicaciones en la comprensión general de la teoría de la selección natural (Trowbridge & Wandersee, 1994; Zuzovsky, 1994).

Así, los alumnos consideran que los cambios evolutivos ocurren como resultado de la necesidad, en respuesta de los organismos ante las condiciones ambientales (Bishop y Anderson, 1990; Settlage, 1994). En general, consideran que la población contiene variación individual; pero está ausente la variación que surge de mutaciones espontáneas. En su lugar, los estudiantes hablan de un *proceso de mutación* (que significa cualquier cambio permanente en las características de los individuos, resultado de la necesidad o el uso), que como se ha señalado, se deben a cambios en el medio. En varios casos, entienden el *proceso* de la adaptación como resultado de la respuesta de los individuos al ambiente, en el sentido de que se van haciendo gradualmente inmune a los cambios (Brumby, 1979; 1984).

Lo anteriormente expuesto nos muestra que aunque desde el punto de vista científico, el evolucionismo es fundamental para el estudio de cualquier fenómeno biológico, existe una gran dificultad para que los estudiantes logren una adecuada comprensión acerca de uno

de sus aspectos básicos: el mecanismo de la selección natural; razón por la cual se convierte en un problema central para la enseñanza de la biología.

En el nivel superior esto es particularmente importante en virtud de que el evolucionismo constituye el marco teórico unificador del conocimiento biológico, por lo que tiene que ver con diversos aspectos que intervienen en el futuro quehacer del biólogo, tanto en actividades profesionales, como de investigación y de docencia; por lo que si no se tiene claridad respecto al mecanismo evolutivo fundamental, será difícil que los estudiantes comprendan adecuadamente el proceso de transformación de las especies en un contexto más amplio.

Con el fin de abordar esta problemática en particular y la del aprendizaje de la ciencia en general, la investigación educativa ha tenido un gran desarrollo que ha puesto en duda muchos de los fundamentos que sostienen la práctica escolar tradicional; las líneas de investigación en la actualidad tienen por objeto la generación de nuevas aproximaciones de análisis del proceso educativo. Estos nuevos enfoques han retomado algunos planteamientos provenientes de las teorías cognitivas y de los campos de la epistemología y la historia de la ciencia.

Diversos estudios en el campo de la educación han señalado que la historia y la epistemología de la ciencia pueden hacer importantes aportaciones en este ámbito. Se ha señalado que un enfoque histórico en la enseñanza puede favorecer en los estudiantes, una visión más adecuada sobre la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico (Novak, 1982; Gagliardi y Giordan, 1986; Gagliardi, 1988; Peñalver, 1988; Matthews, 1989; Hernández, 1992, 1995, 1996; Ruiz, 1996). Considerando el otro eje del proceso, el del aprendizaje, algunos autores como Posner et al (1982), Villani (1993), Chinn y Brewer (1993), entre otros, sostienen que las

aportaciones de los filósofos e historiadores pueden ayudar a comprender los problemas que existen en el aprendizaje de las teorías científicas, ya que según estos autores, tanto el proceso de investigación como el del aprendizaje, comparten características que los hacen parcialmente analógicos. Aunque algunos de estos planteamientos son discutibles, un factor que se reitera en muchos trabajos es el enorme potencial que representa la historia y la epistemología de la ciencia en el campo de la educación.

OBJETIVOS.

Con base en lo anterior, este trabajo tiene como propósito general analizar la importancia de la historia y la epistemología de la ciencia, particularmente la historia de la teoría de la selección natural, en el proceso de enseñanza y aprendizaje del evolucionismo.

Tomando como puntos de partida tanto el surgimiento de la teoría de la selección natural planteada por Carlos Darwin en 1859; así como los principales problemas que existen en el aprendizaje de conceptos evolutivos en el nivel licenciatura, tiene como meta fundamental plantear algunas consideraciones de tipo didáctico para abordar este mecanismo central del evolucionismo contemporáneo.

A partir de ello, la presente investigación estableció los siguientes objetivos particulares:

- Analizar los principales problemas que existen en la comprensión de la teoría de la selección natural, particularmente en el nivel licenciatura.

- Plantear algunas consideraciones de tipo didáctico para analizar la teoría de la selección natural, contemplando su proceso histórico de construcción.

Para abordar nuestro objeto de estudio se definió una estrategia metodológica que contempló enfoques tanto teóricos como empíricos. Para estudiar el proceso de construcción del evolucionismo, particularmente de la teoría de la selección natural se recurrió a un análisis documental; así como para establecer las bases teóricas de la investigación relacionadas con aspectos evolutivos y educativos.

De este modo, a partir de las reconstrucciones realizadas por diversos autores, se analizó el surgimiento de la teoría de la selección natural planteada por Carlos Darwin en 1859. Como se ha señalado, se enfocó a esta etapa histórica porque dicha teoría sienta las bases del evolucionismo contemporáneo y sin la comprensión de este mecanismo, es difícil que los estudiantes asimilen adecuadamente los conceptos y teorías que maneja el evolucionismo contemporáneo. Este análisis buscó reconocer momentos cruciales en la construcción de la teoría, que nos ayudaran a determinar factores que deben ser considerados en su enseñanza. También se señalan algunos antecedentes como el lamarckismo, ya que como hemos visto, las concepciones evolutivas de los estudiantes concuerdan en varios sentidos con las explicaciones que ofreció Lamarck en torno a la transformación de las especies, aspecto importante para este trabajo debido a que la historia nos muestra como fueron cambiando ideas similares a las de los alumnos por concepciones válidas para la ciencia contemporánea, punto que debe tomarse en cuenta en el momento de hacer propuestas didácticas. Se señalan también algunos avances y polémicas posteriores al darwinismo, que dan cuenta de algunos aspectos que se consideran válidos actualmente; este análisis tuvo como

propósito mostrar las características de esta disciplina y señalar algunos conceptos y teorías que deben aprender los estudiantes en la escuela.

Otro punto de partida fundamental del trabajo fue el análisis de los problemas que existen en el aprendizaje del evolucionismo. Si tomamos en cuenta que cuando los estudiantes se enfrentan a un nuevo contenido a aprender, lo hacen a partir de una serie de conceptos, concepciones, representaciones y conocimientos que han adquirido en experiencias previas, que son las que determinan en gran medida la información que seleccionará, la forma cómo la organizará y las relaciones que establecerá entre ellas; por ello, el conocimiento de estas concepciones es fundamental para hacer planteamientos de tipo didáctico. Ausubel (1979) plantea que el factor más importante que influye en el aprendizaje, es lo que el alumno ya conoce y por ello debe enseñarse sobre esta consideración. Averiguar esto, implica identificar aquellos elementos que existen en el repertorio de conocimientos del alumno y que sean relevantes para lo que se desea enseñar.

Con esta intención, se realizó un estudio empírico que tuvo como objetivo conocer lo que los estudiantes de licenciatura saben sobre el mecanismo de la selección natural, las principales concepciones alternativas que tienen en torno a esta temática, y la modificación de dichas concepciones en distintos semestres de la carrera de biología. Con esta perspectiva la parte empírica del trabajo se abordó a través del análisis de los estudios reportados, y la realización de un trabajo de campo basado en la aplicación de un cuestionario (desarrollado por Sánchez, 2000) a estudiantes de los primeros 6 semestres del plan de estudios de la licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México puesto en marcha en 1996. Por este medio se buscó conocer las concepciones de los estudiantes respecto al mecanismo de la selección natural, y los cambios de dichas ideas al inicio y al finalizar el semestre

escolar (99-1). Los principales puntos que se analizan, están relacionados con las principales "concepciones alternativas" reportadas en la literatura, cuyo objetivo ha sido ya señalado.

Así, una vez considerados algunos aspectos importantes respecto al surgimiento de la teoría de la selección natural, habiendo señalado las características fundamentales del evolucionismo, así como los principales problemas que existen en su aprendizaje, el trabajo se enfocó a la elaboración de una propuesta didáctica que integró estos aspectos; tomando como marco las teorías constructivistas del cambio conceptual que se han generado en el campo de la pedagogía.

De esta manera, a partir de la definición de criterios disciplinarios, histórico-epistemológicos y psicopedagógicos se plantean algunas consideraciones de tipo didáctico para abordar la teoría de la selección natural en el nivel superior.²

Finalmente, el trabajo plantea las consideraciones finales que señalan aspectos importantes encontrados en este trabajo, como es el hecho de la coincidencia entre los principales problemas de comprensión encontrados en los estudiantes, con etapas de crisis en la construcción de la teoría de la selección natural, entre otros aspectos.

Con base en las consideraciones anteriores, el presente estudio se estructuró de la siguiente manera:

² Aunque este trabajo se centra en la educación superior, se hacen señalamientos que pueden ser considerados en distintos niveles escolares.

- El capítulo I denominado "La historia y la epistemología de la ciencia y la educación", señala los argumentos a favor de incorporar un enfoque histórico en la enseñanza de la ciencia y las diversas maneras en que este puede abordarse.
- El capítulo II analiza las explicaciones que han dado algunos historiadores en torno al surgimiento de la teoría de la selección natural. Se plantean antecedentes importantes como el lamarckismo, y consideraciones generales sobre desarrollo del evolucionismo después de la aparición del *Origen de las especies*.
- En el capítulo III se tratan los principales aspectos relacionados con el aprendizaje escolar analizado desde la perspectiva constructivista. Se presenta un marco teórico de referencia para analizar los problemas que existen en la comprensión de la teoría de la selección natural.
- El capítulo IV presenta varios estudios reportados en la literatura sobre el tema y los resultados del trabajo de campo realizado con estudiantes del plan de estudios de la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México.
- El capítulo V señala las ideas fundamentales que dificultan una adecuada comprensión de la teoría de la selección natural, así como, dos enfoques para explicar las concepciones evolutivas de los estudiantes.
- En el capítulo VI se plantean algunas recomendaciones didácticas para abordar el evolucionismo en el contexto escolar, a partir de la consideración de tres tipos de criterios: disciplinarios, histórico-epistemológicos y psicopedagógicos;

particularmente se señalan algunos aspectos sobre qué y cómo enseñar la teoría de la selección natural en el nivel superior.

- El capítulo VII, que contiene las consideraciones finales, se retoman aspectos planteados en la tesis, como la discusión acerca de la validez de la analogía entre cambio científico y escolar, además de enfatizar las posibilidades que ofrece la historia y epistemología de la ciencia en el contexto de la educación y del aprendizaje del evolucionismo contemporáneo.

CAPÍTULO I.

LA HISTORIA Y LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN.

1. LA ENSEÑANZA TRADICIONAL DE LA CIENCIA.

A pesar de que la formación de investigadores es uno de los objetivos fundamentales de la educación superior en el área científica, generalmente los planes de estudio y los métodos de enseñanza no siempre logran el objetivo de hacer comprender a los estudiantes, los conocimientos científicos que se le enseñan en la escuela, ni le ofrecen los elementos suficientes que lo capaciten para enfrentar y solucionar problemas concretos de investigación o aplicación, ni los preparan para la toma de decisiones en cuanto a las políticas científicas en el área en que se desempeñan (Suárez et al, 1993; Hernández, 1992, 1995, 1996; Hernández et al, 1993).

Los estudiantes de ciencias conocen poco acerca de la construcción teórico-metodológica relacionada con su área de conocimiento (Gil, 1986; Suárez, 1993). Con relación a la actualización teórico-conceptual, normalmente existe un desfase entre el momento en que se produce el conocimiento científico y su introducción en los programas de enseñanza (Mendoza, 1992; Mendoza y Rojo, 1992). Además, en la mayoría de los casos no se señala la forma como se construyeron los paradigmas vigentes (Matthews, 1989; Gil, 1986; Kuhn, 1982; Winchester, 1989).

A pesar de que en la teoría curricular de los años cincuenta y sesenta se señalaban el interés en que los estudiantes entendieran la naturaleza de la ciencia, la mayoría de las veces los programas de enseñanza tenían un enfoque positivista.

Novak (1988) señala que esta concepción positivista, que la mayoría de los estudiantes y profesores tienen sobre la naturaleza y producción del conocimiento científico, probablemente impide el aprendizaje de la ciencia y explica en parte la persistencia de concepciones erróneas ampliamente sostenidas. Esto indica que los esfuerzos educativos que sólo son dirigidos a la enseñanza de los conceptos "correctos" no son suficientes para modificar de manera el marco conceptual de la mayoría de los estudiantes. Desafortunadamente, aunque en los círculos filosóficos el empirismo y el positivismo pueden estar muertos, en los currículos de ciencia siguen demasiado vivos.

En la escuela se ha extendido el mito de que la ciencia posee un método para llegar a la verdad, que está libre de juicios de valor y es inalterable. En la actualidad, este mito es atacado. La filosofía de la ciencia ha planteado nuevos enfoques donde se concibe a la ciencia como una empresa humana, donde los métodos y concepciones cambian en la medida en que lo hacen las comunidades científicas. Estos aspectos tienen grandes implicaciones en la educación, sin embargo, la historia y la filosofía de la ciencia han sido casi ignoradas en la práctica educativa.

La educación tradicional generalmente ofrece una imagen poco real de la actividad científica. Es común que en la escuela se piense que la ciencia se caracteriza por tener un desarrollo progresivo, acumulativo y lineal, y generalmente los conocimientos se enseñan como hechos acabados y verdaderos. No siempre se presenta una idea clara del proceso de producción del conocimiento científico y de los errores que los científicos enfrentan para llegar a la construcción de una teoría. (Novak, 1982; Gil, 1986). Así, la

enseñanza de la ciencia casi nunca muestra los problemas que se han planteado a lo largo de la historia; poco se analiza acerca de las diversas aproximaciones que desde posiciones filosóficas, marcos teóricos y estrategias metodológicas distintas, interpretan algún problema científico (Suárez et al, 1993; Hernández, 1992, 1995, 1996).

Cuando en la escuela se habla de historia de la ciencia, la mayoría de las veces se enseña como el "relato" de los acontecimientos y "personajes famosos" que han dado las bases para fundamentar el conocimiento actual. De ésta manera se le concibe como una trayectoria continua hacia el conocimiento presente, al mismo tiempo que éste se valida (Kuhn, 1982).

El contenido de los cursos, los libros de texto, etc., en la mayoría de los casos está estructurado con base en teorías y enunciados que han resuelto un cierto tipo de "problema", pero no siempre se plantea a los alumnos, las diferentes formas y estrategias por el que éste ha sido interpretado o explicado. Es decir, el contenido conceptual que se presenta a los alumnos no contiene problemas, sino únicamente soluciones. Esto puede traer como consecuencia que el conocimiento científico parezca un conjunto de datos arbitrarios e inconexos, lo cual tiene profundas implicaciones en el proceso de aprendizaje de los estudiantes y en su capacidad de resolver problemas de investigación. De este modo, para el alumno, el conocimiento científico es en varios sentidos incomprensible, ya que los contenidos científicos y los enfoques didácticos que se llevan a cabo en la escuela no toman en cuenta características esenciales de la ciencia (Hernández, 1995).

Así, el conocimiento científico es transmitido de manera simplista, a través de la exposición de conceptos y teorías que el estudiante debe aprender y reproducir en

exámenes u otros instrumentos de evaluación, seguidas de experimentos y demostraciones que las refuerzan. Sin embargo, esta corroboración sólo puede percibirla quien ha comprendido previamente cuáles han sido las bases conceptuales, metodológicas e históricas en las que se fundamentan dichas teorías y el contexto en que se construyeron; cuando esto no sucede los resultados de la experiencia se transforman en un dato más que debe creerse (Moreno, 1986; Peñalver, 1988).

Otero (1986) señala que de acuerdo con la teoría del aprendizaje de Ausubel, el aprendizaje significativo tiene lugar cuando el que aprende conecta de manera no arbitraria la nueva información a ideas que ya posee. Por tanto al suprimir los elementos involucrados en las reformulaciones conceptuales de la ciencia con fines pedagógicos, desaparece el componente que hace menos arbitrario su contenido.

Otro aspecto importante es que los contenidos conceptuales de planes de estudio, cursos, libros de texto y otras herramientas de enseñanza, generalmente se enfocan al análisis del conocimiento que las comunidades científicas actualmente consideran válido. En este contexto, el contenido de los libros de texto, por ejemplo, debe ser aceptado por los estudiantes, ya que provienen de fuentes "autorizadas" o "autoritarias" como son las comunidades científicas (Kuhn, 1982).

Kuhn (1982) ha planteado que los científicos se forman con base en el análisis de los "paradigmas" dominantes. Así, los alumnos estudian detalladamente los marcos teóricos y metodológicos que el "paradigma" actual considera válidos (Kuhn, 1982). También ha señalado que el conocimiento y la habilidad de una ciencia son transmitidos en el curso de una formación dogmática y completamente estructurada, durante la cual se inculca un profundo compromiso hacia los modos existentes de percepción, las creencias, los paradigmas o problemas-soluciones y los procedimientos. Tal compromiso,

es la condición previa de la ciencia normal, la forma característica que adopta la investigación en un campo desarrollado, que equivale a "un esfuerzo tenaz y pertinente por forzar a la naturaleza a entrar las cajas conceptuales de la educación profesional".

En el mismo sentido Lakatos (1978) señala que las comunidades científicas desarrollan programas de investigación conformados por sistemas de teorías unidos en torno a un núcleo duro que es equivalente al paradigma kuhniano en tanto no está a discusión. Pero no debe estar a discusión provisionalmente, y sólo con motivos metodológicos (por ejemplo mientras se buscan evidencias a favor de una teoría). Sin embargo, esto no significa considerar una teoría como conocimiento absoluto, como ocurre con frecuencia en el proceso de formación de los nuevos científicos.

Ruiz (1996) sostiene que el adiestramiento de investigadores se distingue por estar basado en libros y artículos que se transforman en textos de enseñanza. Así, el futuro científico aprende la terminología de un campo de trabajo determinado, los métodos y las técnicas que en ese momento se consideran válidos para obtener conocimientos en esa área, conoce las formas de percepción adecuadas a su objeto de estudio. Pero, es evidente que entre las observaciones al microscopio o al telescopio del estudiante, del profesor y del científico, media toda una formación teórica y metodológica que las hace distintas.

Sin embargo, continua Ruiz (1996), aunque invariablemente está organizada como preparación para la investigación, la formación científica acríticamente basada en paradigmas no instruye a los estudiantes en la práctica de la investigación: ni les enseña la forma en que los métodos y las técnicas se pueden combinar y adaptar para vencer las dificultades con que se puede tropezar en la investigación real. En su lugar, la formación se concentra en la transmisión de los conocimientos existentes. Puede decirse que otorga los recursos conceptuales y técnicos necesarios para la investigación, y presupone

sencillamente que esos recursos serán bien utilizados. Este tipo de formación no genera ni fomenta rasgos como la creatividad o el rigor lógico.

De lo anteriormente señalado, se puede afirmar que la enseñanza de la ciencia constituye un problema altamente complejo, ya que se presenta a la ciencia como un cúmulo de resultados pero sin historia; además de que se supone que se trata como algo que puede ser captado por los ejemplos de trabajo de los libros científicos. Ambas actividades, es decir, el análisis de los resultados de la ciencia y de los ejemplos científicos estándares, son importantes para la iniciación en las complejas actividades involucradas en una disciplina científica. Sin embargo, de acuerdo con Winchester (1989) fallan al no transmitir al estudiante la excitación del descubrimiento científico; los problemas conceptuales para el desarrollo de nuevos dominios en la investigación científica o el avance de los viejos; la gran cantidad de dificultades en la interpretación y construcción de las teorías; así como los problemas filosóficos y éticos que enfrentan los científicos durante el proceso de construcción de una teoría.

En este sentido, sostiene Ruiz (1996), es importante fomentar en los aprendices una actitud creativa que les permita analizar y criticar los conocimientos que se le enseñan en la escuela. De esta manera el cómo y el qué enseñar debe tener una profunda relación con la forma en que los conceptos se han desarrollado. Sólo cuando los estudiantes aprenden los conceptos y teorías no como algo acabado, sino como resultado de un proceso, pueden captar el carácter histórico y la naturaleza de dicho conocimiento. Particularmente en el nivel superior, los estudiantes deben entender el carácter histórico del conocimiento, de igual forma deben tomar en cuenta su carácter parcialmente relativo.

Por ello, la razón de este trabajo se fundamenta en la convicción de que la toma de conciencia de la dimensión histórica y filosófica de la ciencia, particularmente por parte de los profesores, puede hacer una contribución importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula, en el desarrollo de un currículum más coherente, y en la formación integral de los futuros científicos.

La historia y la epistemología de la ciencia, entonces, deberían jugar un papel crucial en la educación, ya que representan la posibilidad de aprender el lenguaje de la ciencia. Se habla de la historia y la epistemología porque no se trata de la historia como un conjunto de datos ordenados cronológicamente, sino del análisis de los problemas que han abordado los científicos y de las formas que han dado lugar a sus soluciones. De esta manera, conocer el proceso histórico-epistemológico de construcción de los principios, las teorías y los métodos científicos puede favorecer que los estudiantes tengan una perspectiva más integral de la ciencia y logren una mejor comprensión de los fenómenos que estudian (Bensaude, 1982; Novak, 1982; Brody, 1984; Gil y Pessoa, 1992; Gagliardi y Giordan, 1986; Gagliardi, 1988; Peñalver, 1988; Russel, 1988; Matthews, 1989; Brackenridge, 1989; Hernández, 1992, 1995, 1996; Ruiz, 1996).

El enfoque que ofrece la historia y la epistemología de la ciencia puede abordarse desde distintas perspectivas; pero, sobre todo, debe verse como una herramienta para comprender el proceso de desarrollo del conocimiento científico. De esta manera, puede constituirse como una vía para generar discusiones sobre lo que es conocer y cómo se conoce; así, puede ayudar a mostrar que el conocimiento actual es resultado de un largo proceso, donde algunas experiencias no son suficientes para cambiar una teoría, donde los factores sociales tienen un peso importante.

2. LA HISTORIA Y LA EPISTEMOLOGÍA COMO ENFOQUE DE ENSEÑANZA.

La utilidad de la historia de la ciencia en la enseñanza ha sido analizada en numerosos trabajos, sin embargo, su empleo en el aula, en general, ha sido muy limitado (Jiménez y Fernández, 1987; Hernández, 1995). La enseñanza de esta disciplina constituye una tarea difícil. En el contexto de la educación tradicional, aunado a las dificultades existentes en los cursos de ciencias, se suma la introducción de estos temas, que ante la amplitud de los programas escolares, la falta de tiempo para abordarlos de manera adecuada y las deficiencias en la formación de los profesores, trae como resultado la fatiga de los estudiantes debido a la falta de comprensión de los procesos históricos, ya que se transforman nuevamente en datos, nombres y fechas que deben aprender, o en el más común de los casos, memorizar (Gagliardi, 1988; Hernández, 1996).

Sin embargo, recientemente la teoría educativa ha puesto énfasis en la necesidad de replantear el enfoque de enseñanza de la ciencia, destacando el papel de la construcción del conocimiento, en su nivel escolar y científico. En este contexto, es posible dar a la historia de la ciencia una nueva orientación que posibilite un mejor aprendizaje de los estudiantes y la toma de conciencia de la dimensión social de su disciplina.

La introducción de la historia de la ciencia en los programas escolares tiene un enorme potencial y puede considerarse no sólo en la parte introductoria de cursos específicos, sino también como una herramienta básica para definir contenidos fundamentales de enseñanza. Así, la historia de la ciencia además de ser utilizada como tema de enseñanza; puede emplearse como criterio para organizar los aspectos que deben abordarse en una unidad didáctica; en forma de biografías o mediante la utilización de textos científicos que den cuenta de una investigación o descubrimiento importante;

pero, sobre todo, debe verse como una herramienta para comprender la naturaleza del conocimiento científico.

Como tema de enseñanza.

Como tema de enseñanza la historia de la ciencia puede ser empleada, por ejemplo, para generar discusiones sobre aspectos centrales de la ciencia, como es el caso de la "verdad" científica. Mediante el uso de esta herramienta didáctica puede mostrarse que los conocimientos que actualmente se consideran válidos, no son "verdades eternas", sino construcciones realizadas en un contexto social definido y con una validez temporal (Gagliardi y Giordan, 1986).

Las discusiones en torno a los períodos de grandes transformaciones científicas pueden mostrar la influencia de los factores sociales, económicos y políticos que entraron en juego en la aceptación y legitimación de una teoría (Catalán y Catany, 1986; Polo y López, 1987). Esto puede ofrecer al estudiante herramientas conceptuales para comprender el estado actual de la ciencia como institución social, que le sirva para conocer su estructura actual, su relación con el poder, su ideología, así como los sectores que la controlan y se benefician con los resultados de esta actividad (Gagliardi, 1988; Tamir, 1989).

La historia de la ciencia puede utilizarse, entonces, como un medio para analizar la relación de la ciencia con la política, la generación de tecnología y los mecanismos de apropiación y control de los conocimientos científicos por parte de la sociedad. La escuela debe lograr que los alumnos comprendan los mecanismos sociales que conducen a la apropiación de los conocimientos y los riesgos que implica su utilización (De Castro y Pessoa, 1995)). En este mismo sentido, la historia de la ciencia puede mostrar cómo se

reproducen y se legitiman las ideas dominantes de una sociedad y cómo se construye la ideología dominante. Estos elementos pueden ayudar a la comprensión de sistemas tan complejos, y con tantas interacciones, como son las sociedades humanas. (Gomez, 1969; Gagliardi, 1988; Gauld, 1992).

La historia de la ciencia puede ser un excelente medio para introducir discusiones sobre los mecanismos de construcción del conocimiento científico. Esto es particularmente importante debido a que puede favorecer el rechazo de la concepción positivista de la ciencia tan generalizada en la escuela, y que ofrece una imagen falsa de la ciencia y de su desarrollo histórico (Gagliardi y Giordan, 1986; Manuel, 1986).

En particular, puede ayudar a superar la idea de que todo conocimiento científico es "verdadero" y que se llega a él por medio de la acumulación de experiencias exitosas. La historia debe dejar de verse como la serie de descubrimientos sucesivos, realizados por "genios", que de manera continua han aportado una piedra al "gran edificio del saber". Es necesario que los estudiantes comprendan las dificultades, los obstáculos y los errores de todo tipo que los científicos tuvieron que franquear, para llegar a la elaboración de una teoría, sin dejar de lado, el contexto en el cual se construyó.

Para definir contenidos de enseñanza.

Duschi (1997), sostiene que el análisis del desarrollo de las teorías científicas puede orientar las decisiones sobre qué contenidos son más importantes en la enseñanza de una disciplina, ya que ofrece una alternativa de solución al problema de la amplitud de temas que la mayoría de los currículum presenta; situación que muchas veces limita la posibilidad de abordarlos con la profundidad requerida.

El estudio del desarrollo de la ciencia muestra que las teorías científicas se encuentran en el núcleo del proceso de construcción del conocimiento, ya que la ciencia busca la comprensión de los fenómenos naturales y las teorías representan estas explicaciones. De igual forma, a través del estudio de los procesos cognitivos se sabe que el sistema conceptual de un individuo sirve como teoría personal que guía el proceso de aprendizaje. Así, el punto de encuentro entre la disciplina científica y el estudiante de ciencia, es el de las teorías, traducidas en contenidos escolares. Los profesores, en este sentido, pueden emplear como herramientas, las pautas metodológicas que han propuesto los filósofos e historiadores de la ciencia para explicar la estructura y reestructuración de las teorías científicas.

Una forma de utilizar estos planteamientos puede servir para planificar y tomar decisiones sobre la selección y secuencia de los contenidos a enseñar. Por ejemplo, el estudio de la epistemología nos muestra que no todos los enunciados de una teoría son igualmente importantes. Lakatos (1978) plantea que los programas de investigación se caracterizan por poseer un "centro firme" y un conjunto de hipótesis auxiliares que forman un cinturón protector en torno a él. El cinturón protector que recibe los impactos de las contrastaciones, puede ser ajustado y reajustado, incluso ser sustituido con el propósito de defender al centro firme. Pero, este centro es irrefutable por decisión metodológica de sus defensores y las anomalías sólo pueden originar cambios en las hipótesis auxiliares. En este sentido, el centro firme es el que guía el desarrollo del programa de investigación, desde el punto de vista teórico y metodológico. En la escuela podrían definirse los contenidos escolares tomando como base estas consideraciones. Así, de acuerdo con el nivel educativo y las intenciones de los cursos que conforman un plan curricular, podría decidirse sólo estudiar el "centro firme", por ejemplo, ya que plantea los aspectos fundamentales de la disciplina en cuestión; o según el caso,

podrían abordarse aspectos más particulares, que en términos de Lakatos son las hipótesis auxiliares.

Como hemos visto, en el caso del evolucionismo, el centro firme está conformado por las ideas acerca de la existencia de dos procesos distinguibles en la evolución: el azar, involucrado en la aparición no adaptativa de la variación; y, la necesidad, que da como resultado la sobrevivencia diferencial de los individuos que forman una población, mecanismo conocido como selección natural. A pesar de las críticas en varios ámbitos a la teoría neodarwinista -evolución molecular, macroevolución- sigue considerándose a la selección natural como el mecanismo fundamental del proceso evolutivo. En términos escolares, esto significa, además, que los aprendices de evolución, deben partir de la comprensión de este núcleo duro de la disciplina, antes de abordar aspectos más particulares del proceso.

Considerando lo anterior, un componente central del proceso de toma de decisiones del profesor, es que tenga un conocimiento sólido de los temas a enseñar. Es deseable, entonces, que no sólo conozca los hechos, principios y definiciones científicas, sino también la estructura de su disciplina (los problemas rectores, los problemas relevantes a investigar y los métodos utilizados para llevar a cabo investigaciones y para evaluar las teorías científicas), y la forma como ésta estructura conceptual se ha constituido a lo largo de la historia. Dado que el conocimiento científico propone alternativas para entender y explicar por qué algo ocurre o existe tal como es, a diferencia del conocimiento derivado del sentido común, los hechos en sí mismos no nos dicen gran cosa; son las relaciones entre los hechos las que se desarrollan como nuestras representaciones del mundo y las que permiten su comprensión.

Como medio para comprender el proceso de construcción de conocimiento científico en el contexto escolar.

Un aspecto fundamental que ha sido planteado por diversos autores (Villani, 1993; Chinn & Brewer, 1993), es que la historia y la epistemología de la ciencia pueden ayudar a comprender y explicar el proceso de construcción de conocimiento científico llevado a cabo por los aprendices de ciencia, puesto que se ha detectado que los problemas a los que se enfrentan los científicos manifiestan puntos de conflicto, a veces obstáculos epistemológicos, que coinciden en algunos casos con los temas que en la educación tienen grandes dificultades para ser transmitidos y aprendidos. Los resultados encontrados en este trabajo muestran que el caso del evolucionismo es un ejemplo de esa situación.

En este sentido, Gagliardi y Giordan (1986) sostienen que existen tres tipos de obstáculos en el aprendizaje de la ciencia: los lógicos, derivados del desarrollo de la inteligencia; los psicológicos, producidos por problemas afectivos; y los epistemológicos, provenientes de la estructura del sistema cognitivo. La capacidad para construir conocimiento esta dada por la influencia de estos tres tipos de obstáculos; pero, al enfrentar los obstáculos epistemológicos puede lograrse la modificación de los otros dos, debido a que la modificación cognitiva del alumno, que implica una transformación de su estructura lógica, puede estimular su autoestima, y con ello favorecer la superación de múltiples obstáculos afectivos.

De esta manera, la determinación de los obstáculos epistemológicos es uno de los aspectos fundamentales que deben considerarse en la transformación de la enseñanza de las ciencias en general, y del evolucionismo en particular, ya que permiten conocer los conceptos que dificultan la comprensión de una teoría o conjunto de teorías. En este

sentido, la historia y la epistemología de la ciencia juegan un papel muy importante, ya que posibilitan la comprensión de los principales conceptos y teorías que conforman una disciplina, así como el conocimiento de cuáles han sido los principales obstáculos que han determinado su construcción.

A partir de esta concepción Gagliardi y Giordan (1986) proponen la noción de conceptos estructurantes, que constituyen aquellos conceptos que una vez que han sido construidos por el estudiante, determinan la transformación de su sistema conceptual, lo cual favorece su aprendizaje. Dicho de otra manera, los conceptos estructurantes son aquellos que permiten superar obstáculos epistemológicos. El análisis de los obstáculos epistemológicos y de su superación, permitirá conocer cuáles fueron los conceptos estructurantes que entraron en juego.

De acuerdo con estos autores, la definición de los conceptos estructurantes puede llevarse a cabo por diferentes medios: el análisis de las representaciones sociales, el análisis de los momentos de transformación de una ciencia y el análisis de las teorías científicas vigentes.

Aunque esta explicación es limitada respecto al proceso de cambio conceptual en los estudiantes, aspecto que desarrollaremos en capítulos posteriores, señala un punto que es importante para este trabajo: que existen conceptos centrales que dificultan la comprensión de las teorías científicas por parte de los estudiantes, por lo que representan un obstáculo epistemológico; la historia de la ciencia muestra como dichos conceptos permitieron su elaboración.

Así, si mediante la historia y la epistemología de la ciencia es posible definir los conceptos estructurantes presentes en los momentos de profunda transformación de una disciplina; conocerlos constituye una forma de determinar los conceptos estructurantes en la enseñanza. Desde este punto de vista, en el caso de la Biología,

saber cuáles fueron los nuevos conceptos ligados a su desarrollo, puede ayudarnos a definir cuáles son los conceptos que los alumnos deben construir para comprenderla. Si la biología se desarrolló a partir de que se definió un concepto determinado (especie, población, adaptación o mutación, por ejemplo), entonces, es posible suponer que dicho concepto puede facilitar el aprendizaje de la biología. De esta manera, si un concepto sirvió históricamente para superar un obstáculo epistemológico, puede servir también para superar los obstáculos epistemológicos de los estudiantes. Además, una enseñanza basada en los conceptos estructurantes, reduce los temas a enseñar y se centra en el desarrollo de las capacidades de los alumnos. Así, son a la vez medios para superar los obstáculos epistemológicos y una base para continuar aprendiendo (Gagliardi y Giordan, 1986).

En ese sentido, es importante resaltar es que el análisis de estos aspectos pueden ayudar a diferenciar el proceso de construcción de conocimiento en el ámbito científico y escolar, que tan frecuentemente se confunde en los programas escolares. Gagliardi y Giordan (1986) plantean, "... los alumnos *no hacen ciencia en clase*. La ciencia es una actividad institucional, integrada, en la que se aceptan implícitamente o explícitamente ciertas teorías previas, y en la cual se utilizan métodos aceptados por la comunidad científica. La actividad en clase de los alumnos *no es similar a la actividad científica*" (Pág. 254).

En el caso del evolucionismo podemos señalar que, la teoría de la selección natural está conformada por una estructura conceptual basada en una cierta forma en que se relacionan los conceptos. Darwin, como científico, tuvo la capacidad de proponer de manera original esta nueva forma de abordar el estudio de los seres vivos. Los estudiantes, por su parte, para asimilar los planteamientos de la teoría darwiniana necesitan modificar su estructura conceptual original para tratar de establecer relaciones entre los diferentes tipos de conceptos que le permitan comprenderla, es

decir, deben aprender la taxonomía conceptual de la teoría de la evolución por selección natural y tratar de conectar los conceptos que la conforman.

Como veremos en este trabajo, el análisis de la construcción de la teoría darwiniana nos revela que un elemento fundamental para su planteamiento, fue el desarrollo del pensamiento poblacional; mientras Darwin no tuvo este enfoque, el concepto de competencia careció de sentido evolutivo. A partir de la lectura de Malthus, Darwin entiende que la acción de cada individuo (por ejemplo, su muerte o sobrevivencia, el número de descendientes, etc.) afecta la estructura de la población; que cada individuo es diferente de los demás (no sólo morfológicamente, que determinó la concepción del tipo y sus desviaciones). Esto le permitió comprender que hay individuos más adaptados que otros, que algunos sobreviven y otros no, que unos dejan descendencia y otros no, que unos dejan más descendencia que otros. Por ello, abandona el concepto de adaptación perfecta - que seguía manteniendo a pesar de que en ese momento ya era evolucionista - y lo cambia por el de adaptación diferencial, que le posibilita postular el concepto de selección natural (considerando también el de sobrepoblación, lucha por la existencia y variación). Muchos trabajos han reportado que los alumnos, mantienen un pensamiento tipológico de especie, por tanto, es difícil que puedan comprender los planteamientos centrales de la teoría sin adquirir y manejar el concepto de población, lo que en términos de Gagliardi y Giordan representa un concepto estructurante.

De este modo, el análisis histórico del surgimiento de la teoría revela aspectos importantes para su comprensión, como es el caso del pensamiento poblacional. Con esta lógica este trabajo pretende señalar cómo las ideas alternativas de los estudiantes representan un obstáculo epistemológico para la asimilación de la teoría, y sobre todo, propone cómo la historia del evolucionismo puede ayudar a determinar contenidos y estrategias para favorecer la comprensión de conceptos evolutivos fundamentales.

En suma, los puntos planteados en este capítulo, muestran las múltiples posibilidades que ofrece un enfoque histórico en la enseñanza. Sin embargo, debemos estar conscientes de que la historia de la ciencia no va a resolver toda la problemática que implica la adecuada formación de los científicos, en particular, los biólogos. Indudablemente son muchos los aspectos que deben considerarse para lograr tal propósito. Los estudiantes, ante todo, deben comprender las teorías actuales y manejar las metodologías que favorezcan su desempeño científico y profesional. Pero, no debemos soslayar, que también es indispensable que comprendan lo que es la ciencia, cómo se construye y que reflexionen sobre el papel que los científicos juegan en la sociedad. La argumentación de estos temas constituye uno de los objetivos de este trabajo.

Así, cuando se habla de analizar el papel de la historia de la ciencia en la formación de los científicos, en este caso de los aprendices de evolución, la principal intención, no es sólo mostrar las bondades de la historia como recurso didáctico; se pretende resaltar la importancia de que todo científico, y con mayor razón aquel que se dedica a la docencia, comprenda lo que es la ciencia y cómo se construye. Esto implica replantear las concepciones de ciencia, del método científico, de la verdad y el progreso de la ciencia, que subyacen en la enseñanza tradicional permeada por el positivismo, para promover una nueva filosofía de la educación, que haga más coherente la relación entre la ciencia que se hace y la que se enseña.

La historia de la ciencia, de esta manera, puede constituirse como una herramienta para generar discusiones sobre lo que es conocer y cómo se conoce. Debe mostrar que el conocimiento actual es resultado de un proceso largo, donde algunas experiencias no son suficientes para cambiar una teoría, donde los factores sociales tienen un peso importante. Esto puede ayudar a desmitificar la imagen de la ciencia que se tiene en la

escuela y sobre todo, a favorecer la comprensión de los principales programas de investigación, como es el caso del evolucionismo, ya que finalmente el conocimiento de éstas constituye uno de los objetivos centrales de la enseñanza de la ciencia, en general y de la biología en particular.

Con base en las anteriores consideraciones en el siguiente capítulo se señalan algunos aspectos históricos importantes sobre cómo se construyeron conceptos evolutivos fundamentales, específicamente, se presentan los trabajos de algunos historiadores que analizan el surgimiento de la teoría de la selección natural.

CAPÍTULO II.

EL SURGIMIENTO DE LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL. ANTECEDENTES Y ALGUNOS AVANCES POSTERIORES.

1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentan algunos aspectos importantes sobre la construcción histórica del evolucionismo. Se plantea la teoría transformista de Jean Baptiste Lamarck publicada en 1809, debido a que es muy importante para los objetivos de esta investigación. Como se señaló en el prólogo, es común encontrar ideas lamareckianas en las concepciones evolutivas de los estudiantes. Por ello es necesario conocer las explicaciones que ofrecía Lamarck y cómo fueron modificadas por Darwin o por científicos posteriores a él. Esto puede ayudarnos a entender los problemas que existen el aprendizaje del evolucionismo y nos ofrece herramientas para intentar resolverlos, ya que la historia de la ciencia constituye un ejemplo sobre cómo se abandonaron las concepciones sobre la evolución o la herencia, que comparten estudiantes y naturalistas previos a Darwin, incluso el mismo Darwin, y poder determinar los conceptos centrales que permiten la comprensión de la teoría darwinista de la evolución de las especies.

Dados los objetivos del trabajo, se analiza de manera más detallada el surgimiento de la teoría de la Selección Natural, donde residen los fundamentos del evolucionismo contemporáneo, tomando en cuenta reconstrucciones realizadas por diversos autores.

Este análisis parte de la consideración de que el estudio de los obstáculos y los momentos de crisis que ocurrieron en el proceso de elaboración del evolucionismo, particularmente de la construcción de la teoría de la selección natural planteada por

Carlos Darwin en 1859, deben tomarse en cuenta en la enseñanza de ese tema, ya que son cruciales para la comprensión de los fundamentos centrales del evolucionismo actual.

Como veremos en este capítulo, los momentos de crisis del darwinismo se resolvieron, en gran medida, con la incorporación de nuevos conceptos o la transformación de viejos conceptos. En ocasiones Darwin detuvo el avance en la construcción de su teoría porque se enfrentó con problemas de momento irresolubles. Cuando encontró la solución y logró explicar un determinado fenómeno natural en términos conceptuales, hubo un avance notable en su teoría.

En el desarrollo de la presente investigación se ha detectado que los momentos de mayor dificultad y ulterior avance del darwinismo coinciden con algunos problemas de mayor dificultad en su aprendizaje, y que los conceptos creados por Darwin a partir de lo que hemos llamado crisis, coinciden con los conceptos esenciales del darwinismo, debido a que le permiten continuar con el planteamiento de su teoría. Mientras Darwin no los tiene, no tiene la teoría acabada; de forma análoga, cuando los estudiantes no los manejen, no logran comprender el darwinismo, y por tanto, las bases fundamentales del evolucionismo actual.

De esta manera, los conceptos cruciales que resultan de la resolución de lo que aquí llamamos crisis, fueron indispensables en la construcción del darwinismo y en este trabajo partimos de la consideración de que también son indispensables en su enseñanza, debido a que representan lo que Gagliardi y Giordan (1988) denominan conceptos estructurantes, es decir, conceptos que permiten superar obstáculos epistemológicos.

Se plantea también, algunos aspectos sobre lo que sucedió después de la publicación de "El Origen de las Especies", con la intención de señalar temáticas que se consideran válidas actualmente y las polémicas que existen sobre los mecanismos evolutivos. Es claro que los alumnos deben conocer la historia de las teorías evolutivas, pero, lo que no hay que perder de vista que esto debe servir para comprender lo que es considerado válido actualmente.

En suma, en este capítulo se presentan los principales planteamientos de las teorías que se han propuesto para explicar los procesos y mecanismos que intervienen en la transformación de las especies: la teoría lamarckiana, la teoría darwiniana, un primer intento de síntesis de la teoría darwiniana y la genética planteada por Fisher, Wrigth y Haldane, la teoría sintética o neodarwinista y, finalmente, aunque no con la categoría de una nueva teoría general de la evolución, se abordan parte de las críticas a la teoría neodarwinista enfocadas a la evolución en el ámbito molecular y la macroevolución.

Este marco de referencia es importante porque permite entender el significado que tiene la teoría de la selección natural en el contexto de las explicaciones evolutivas. Nos permite también a entender en qué sentido las ideas de los estudiantes difieren de los planteamientos científicos, lo que ayudará a determinar contenidos, actividades y recursos didácticos para lograr modificar concepciones que no son válidas en el panorama evolutivo contemporáneo.

2. EL TRANSFORMISMO DE LAMARCK.

Desde el siglo XVII la descripción y la clasificación de los objetos naturales, considerados como creados por Dios (minerales, plantas y animales) había sido la actividad fundamental de los naturalistas; quienes estudiaban las plantas se les daba

el nombre común de botánicos y el de zoólogos a quienes se interesaban por los animales. El interés de un naturalista, ya sea botánico o zoólogo, se enfocaba a los aspectos externos, a la distribución geográfica de las especies y a supuestas relaciones ecológicas y de parentesco entre las diferentes plantas y animales. Se buscaba tener una enumeración cada vez más completa y una clasificación precisa y útil de las criaturas vivas y de los minerales. De esta manera, el objeto de estudio de los naturalistas incluía animales, plantas y minerales, su método de estudio tenía un enfoque fundamentalmente descriptivo.

A principios del XIX se buscaba reorientar los intereses y las investigaciones de quienes estudiaban la vida. En este período existieron diversos campos de interés; el pensamiento biológico no constituía un cuerpo de conocimiento unitario; había una gran diversidad de pensamientos y se generaron nuevas aproximaciones metodológicas para abordar los problemas derivados del estudio de los seres vivos.

Uno de los temas esenciales que surgen a finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX fue el desarrollo de la explicación histórica, postulado fundamental de los teóricos de la evolución. La idea de que los seres vivos se transforman en el tiempo no había existido siempre. La visión bíblica de la creación dominó durante mucho tiempo. Se consideraba que los seres vivos habían sido creados por Dios y que ocupaban un lugar específico en la naturaleza, por tanto la posibilidad de evolución de las especies no existía. Hasta el siglo XVIII se produce una transformación en esta visión al introducirse la idea de cambio a través de largos períodos de tiempo, tanto en la tierra como en los seres vivos (Mayr, 1992, 1993). A principios del siglo XIX algunos naturalistas sostienen que las especies se transforman, pero es Jean Baptiste Lamarck quien propone la primera teoría coherente para explicar este cambio.

La teoría transformista de Lamarck parte de la consideración de que toda ciencia debe tener una filosofía que explique los fenómenos universales de su campo de conocimiento. Trata de explicar que los organismos se transforman al acomodarse al ambiente y cómo logran la adecuación, es decir, pretende explicar el problema de la adaptación.

El objetivo principal de Lamarck, era comprender el plan seguido por la naturaleza y, por tanto, descubrir leyes naturales uniformes y constantes. En su libro más conocido "La Filosofía Zoológica" publicado en 1809, sostiene que era una ley de la naturaleza, producir seres vivos más complejos. De esta manera si las leyes naturales eran responsables de la gradación entre los seres vivos, la acción del ambiente explicaba las adaptaciones especializadas. En este sentido, para Lamarck, el ambiente era una parte fundamental de la naturaleza; funcionaba de acuerdo a leyes naturales y, sin embargo, en algún sentido era la antítesis de la vida. La "vida" era el poder esencial de la naturaleza para producir seres orgánicos más complejos; el ambiente era el responsable de las "desviaciones" de ese poder, manifestadas en los cambios adaptativos de los organismos ante las condiciones del medio (Jordanova, 1984). De esta manera, en Lamarck se presentan dos concepciones de la naturaleza: una, la que tiene un plan divino, un objetivo, un final; la otra, la naturaleza contingente que sufre cambios que no puede prever.

El mecanismo de transformación de Lamarck plantea lo siguiente: un cambio permanente en el medio ambiente produciría en los organismos un cambio en sus necesidades; esto conduciría al desarrollo de nuevas acciones que traerían como resultado, nuevas costumbres. Estas nuevas costumbres implicarían el mayor uso de ciertas partes del organismo (que se agrandarían, o se transformarían en otras) y el desuso de otras (que tenderían a desaparecer); estos caracteres adquiridos durante

la vida del organismo serían transmitidos a sus descendientes. Este proceso sostenido durante largos períodos de tiempo traería como consecuencia la transformación de las especies.

Para explicar estos hechos Lamarck recurre al planteamiento de dos leyes:

- *"En todo animal...el uso más frecuente y sostenido de un órgano cualquiera fortifica poco a poco este órgano, lo desarrolla, lo agranda y le da una potencia proporcional a la duración de este uso; mientras que la falta constante de uso del mismo órgano lo debilita sensiblemente, lo deteriora, disminuye progresivamente sus facultades, y termina por hacerlo desaparecer" (Ley del uso y desuso);*

- *"Todo lo que en la naturaleza ha hecho adquirir o perder a los individuos con la influencia de las circunstancias a que su raza se encuentra expuesto desde hace mucho tiempo, y por consiguiente bajo el empleo predominante de un órgano o por la falta constante de uso de tal parte, lo conserva a través de la generación de nuevos individuos que provienen de ella, mientras que los cambios sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos" (Ley de la herencia de los caracteres adquiridos) (Lamarck, 1809).*

De esta manera, las tesis de Lamarck se basan en las siguientes proposiciones: nada es constante en la naturaleza; las formas orgánicas se desarrollan gradualmente unas de otras, y no fueron creadas en la forma presente; las ciencias naturales deben reconocer que la naturaleza tiene historia; y, las leyes que rigen a los seres vivos han ido desarrollando formas cada vez más complejas durante largos períodos de tiempo, culminando con la especie humana. Las modificaciones de los organismos se deben a que éstos se adaptan al ambiente por medio del cambio en sus hábitos. El uso de un

órgano lo fortalece, su desuso lo lleva a la desaparición. Los caracteres adquiridos por uso o desuso serán heredados, concepto que ha sido denominado herencia de los caracteres adquiridos.

Aunque la idea de la evolución era compartida por algunos científicos, la teoría de Lamarck no tuvo mucha aceptación. Sin embargo, en muchos sentidos sus planteamientos fueron importantes no sólo en el campo del evolucionismo (por ejemplo, él fue quien propuso la necesidad de crear una ciencia -la biología- dedicada al estudio específico de los seres vivos). Muchas veces se le recuerda por sus concepciones no válidas actualmente, como la herencia de los caracteres adquiridos o la ley del uso y desuso. Pero, es necesario remarcar que fueron concepciones que algunos científicos de su tiempo compartían.

Hasta mediados del siglo XIX se argumenta con suficiente claridad el hecho de la evolución y se plantean posibles mecanismos que la explican. En 1859 Carlos Darwin publica *El Origen de las especies*, donde plantea la teoría de la evolución por selección natural, que establece el programa de investigación que ha seguido creciendo y perfeccionándose a partir de entonces y hasta nuestros días, con los descubrimientos actuales, conformando así el evolucionismo contemporáneo.

3. CARLOS DARWIN Y EL SURGIMIENTO DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL.

3.1. CARLOS DARWIN.

Desde muy joven Darwin mostró una gran afición por la historia natural, por recolectar objetos como conchas, monedas, animales y minerales. Fue enviado a estudiar medicina a la Universidad de Edimburgo, pero las clases le parecían aburridas y no soportaba las operaciones. Sin embargo, conoció a un grupo de personas interesadas en la historia natural y presentó varios trabajos en la Sociedad Lineana. Darwin inició su formación con Robert Grant. Con él conoció las tesis evolucionistas de Lamarck y de su abuelo Erasmo Darwin. No se cuenta con alguna fuente que indique si en ese momento Darwin se convenció o no de las ideas de Lamarck y de Erasmo. Abandona los estudios, por lo que su padre decide que entre al servicio de la iglesia anglicana. Por ello, se incorpora a la Universidad de Cambridge.

En esta época conoce a varios científicos importantes que influyeron profundamente en su vida. Entre ellos estaba el distinguido botánico John S. Henslow; fue gracias a él que hizo su famoso viaje alrededor del mundo a bordo del Beagle. Le aconsejó llevar un ejemplar de "Los Principios de Geología" de Lyell, que sería muy importante para su formación como científico (Ruiz, 1987).

En Cambridge conoció y le convencieron las tesis catastrofistas y fijistas de Herschel y Sedwick. Cuando parte al viaje del Beagle estaba convencido de dichas teorías científicas vigentes en su época. Abandona el catastrofismo después de confrontar la teoría catastrofista de Herschel y Sedwick y la teoría gradualista, uniformitarista y actualista de Lyell con sus observaciones geológicas del viaje. Por otra parte, en el

libro de Lyell, Darwin conoce las críticas a Lamarck y describe en su Diario su coincidencia con él.

3.2. EL VIAJE DEL BEAGLE.

El 29 de agosto de 1831, al regresar de una breve excursión geológica al norte de Gales, recibe una carta de Henslow, quien le comunica que el capitán Fitz-Roy requería un naturalista para que compartiera su camarote en el viaje que realizaría a Sudamérica, a bordo del velero Beagle. Darwin se interesa inmediatamente por la oferta, pero su padre le planteó serias objeciones. Finalmente, por intermediación de su tío, el padre de Darwin dió su consentimiento (Darwin, 1993).

El capitán Fitz-Roy era teniente antes de cumplir 20 años. Prestó servicio en el Mediterraneo y en 1826 inició el estudio de Sudamérica. En 1828 el capitán del Beagle, Stokes, se suicidó, como primer oficial, Fitz-Roy ocupó su lugar y continuó con dicho estudio. En varias ocasiones se lamentaba de la falta de una persona calificada a bordo que pudiera desentrañar los fenómenos naturales que se presentaban ante su vista. Por ello, cuando regresa a Inglaterra en 1828, determina llevar a alguien en su siguiente viaje para realizar estas tareas. Carlos Darwin de 22 años fue elegido para ello (Von Hagen, 1983).

De esta manera, el 27 de diciembre de 1831, Darwin inicia la aventura más significativa de su vida a bordo del H.M.S. Beagle, que deja las costas de Inglaterra para dar un viaje alrededor del mundo, después de 2 intentos fallidos por salir.

Este viaje tenía como objetivos, completar el estudio de la Patagonia y la Tierra del Fuego (estudio comenzado bajo las ordenes del capitán King, de 1826 a 1830); levantar

los planos de las costas de Chile, del Perú y de algunas islas del Pacífico; por último, hacer una serie de observaciones cronométricas alrededor del mundo; además de perseguir fines colonialistas.

El viaje ofreció a Darwin el primer entrenamiento en historia natural. Se vio obligado a prestar atención a diversas ramas de la Historia Natural; gracias a ello perfeccionó su capacidad de observación, que de por sí estaba bastante desarrollada. Una de sus ocupaciones era recoger todo tipo de animales; hacía una breve descripción y disecaba los que provenían del mar. Como no sabía dibujar ni tenía sólidos conocimientos en anatomía, muchos de estos trabajos fueron materialmente inservibles. Dedicaba gran parte del día a escribir su diario y ponía especial cuidado en describir minuciosamente todo lo que había visto, lo cual fue una buena práctica para sus trabajos posteriores. Estudiaba las rocas, los fósiles, los movimientos de la tierra de todas las regiones que visitaba. Coleccionaba plantas, animales y fósiles para su identificación.

Tenía una gran capacidad para la observación y la concentración. Esto, aunado a su interés por desenredar los misterios de la naturaleza y el deseo de explicarlos bajo unas cuantas leyes generales, fue importante para su trabajo. Además del placer por la investigación y guiado por el firme deseo de aportar algo a la masa de información de la ciencia natural, ambicionaba alcanzar una buena posición entre los científicos (Bowler, 1995).

La investigación geológica jugó un papel muy importante dentro del viaje. Al salir de Inglaterra tenía una gran influencia de Sedwick (el principal exponente del catastrofismo)¹. Sin embargo, lleva el primer volumen de Principios de Geología, y pronto

¹ El catastrofismo sostenía que la tierra había sufrido grandes cataclismos que explicaban su estructura actual. El uniformitarismo postulado por Lyell, por otra parte, planteaba que la historia de la tierra puede explicarse por medio de un desarrollo gradual y uniforme que responde a causas observadas en el

se convence de las ideas de Lyell sobre la antigüedad de la tierra y la teoría de que ésta cambiaba lentamente por procesos naturales que aún podían ser observados.

El *Beagle* en su recorrido toca diferentes países. De Inglaterra se dirige a Cabo Verde. En 1832 llega a Bahía de Brasil, y luego va a Rio de Janeiro. En julio de 1832 llega a Montevideo, Uruguay, donde pasa buena parte de los siguientes dos años cartografiando el sur. Darwin aprovecha para hacer frecuentes salidas a tierra (Darwin, 1989).

En este tiempo hizo observaciones geológicas y coleccionó especímenes de plantas y animales que llamaron su atención. Por ejemplo, el *tucutuco* (roedor ciego adaptado a vivir en túneles) que le recordó a Lamarck. Después encontró una víbora que hacía vibrar su cola como cascabel pero que no tenía cascabeles (los comentarios sobre esta criatura en la segunda edición del "Diario del Viaje"² indican que a su regreso, Darwin contempla este descubrimiento como una indicación de los estadios intermedios por los cuales las estructuras raras pueden ir evolucionando). Aún así, en ese momento todavía era fijista.

Entre los descubrimientos zoológicos más importantes de las pampas fue una nueva especie de ñandú (la posteriormente llamada *Rhea darwini* en su honor) además de una ya conocida. En un viaje terrestre desde Bahía Blanca hasta Buenos Aires, en 1832, llegó a un lugar llamado Punta Alta (costas argentinas) donde encontró restos de animales fósiles desconocidos que eran de gran tamaño. Entre otros había restos de *Megaterium* (gigantesco oso terrestre), junto con fósiles de armadillo y de un roedor gigante *Taxodon*, y de *Myiodon* (elefante extinto). En Puerto Deseado, en la Patagonia, encontró a *Macrauchenia* y a una llama silvestre casi del tamaño de un camello.

presente.

²Cabe señalar que cuando Darwin escribe en 1842 la 2a. edición de su Diario, ya es evolucionista. Sin embargo, no quiere dar a conocer públicamente su posición; además de que todavía no tiene una teoría

En los años siguientes, la existencia de las dos especies de ñandú dio a Darwin mucho en que pensar: la proximidad de las relaciones entre ellas permitía la posibilidad de que una hubiera derivado de la otra por transmutación. La especie recién descubierta tenía su área de dispersión más sur, pero había un espacio compartido por ambas especies. A su regreso este hecho hizo dudar a Darwin en la interpretación tradicional de que cada especie tiene su lugar en la naturaleza al cual está perfectamente adaptada. En otros lugares encontró huesos fósiles de especies al parecer extintas en un pasado geológicamente reciente.

La 2ª edición del "Diario del viaje" revela de nuevo cómo estos hallazgos influyeron en el pensamiento de Darwin durante los años siguientes. Su parecido con animales actuales era sugestivo. Sin embargo, sería erróneo pensar que Darwin dedujo las implicaciones evolucionistas de estos fósiles tan pronto cómo los vio; lo que es cierto es que estos datos influirían claramente en su pensamiento posterior (Bowler, 1995).

En diciembre de 1832 el Beagle navegó al sur de los Estrecho de Magallanes y en la inhóspitalaria Tierra del Fuego. El contacto con los fueguinos tuvo tal gran impacto en Darwin, que le hizo pensar en las diferencias entre la especie humana, que posteriormente serían importantes para desarrollar sus planteamientos sobre el origen de nuestra especie.

A principios de 1834 estando en la costa oeste de América del Sur, Darwin exploró la isla de Chiloe y Valdivia. Estando cerca de ahí hubo un fuerte terremoto. El Puerto de Concepción estaba destruido. Vio una elevación importante que dejaba ver capas de mejillones en putrefacción. Encontró extractos de conchas a más allá de 1000 pies de altitud en las montañas. Esta conexión entre un moderno terremoto y la elevación del

suficientemente acabada.

pasado geológico produjo un espectacular cambio en las concepciones geológicas de Darwin, que lo llevaron a convergir con el uniformitarismo.

El 15 de diciembre de 1835 el Beagle arribó a las Galápagos, un grupo de islas sobre el ecuador en el Pacífico. Observó que cada isla tenía su propia variedad de aves, tortugas, iguanas, etc. Los pinzones, por ejemplo, diferían en la forma de los picos, lo que lo llevó a pensar que eran adaptaciones a los distintos tipos de dietas.

Nuevamente la 2a edición del "Diario del viaje" oculta poco sobre las implicaciones que posteriormente tendrían el análisis sobre la fauna de estas islas. Eran geológicamente recientes, habían adquirido una población diversa e insólita, que revelaba una influencia americana distinta. El hecho más sorprendente es que en algunos casos existe una forma reconociblemente distinta en cada isla. Sin embargo, su interpretación de las especies de las islas se desarrolló gradualmente en los siguientes años. De hecho Darwin dejó las Galápagos sin entender su completo significado: no colectó sus tortugas gigantes; la colección de pinzones era incompleta y no identificaba las islas en las que había colectado los especímenes (Darwin al regreso de Inglaterra pidió prestados especímenes de otras colecciones para contrastar las conclusiones que empezó a desarrollar a su regreso).

Después de las Galápagos, el Beagle navega a través del Pacífico, recalando brevemente en Tahití y Nueva Zelanda. Inicia su viaje de retorno por la vía del circuito, tomando Mauricio, Cabo de Buena Esperanza, Santa Elena y de nuevo Bahía de Brasil (para completar información cronométrica). El Beagle llega a Inglaterra (Falmouth) el 2 de octubre de 1836.

El viaje del Beagle ha sido visto como el bautismo en la carrera de Darwin, una experiencia que le convirtió al evolucionismo y marcó su pensamiento posterior. El mismo Darwin influyó en esta idea.

Las visiones simplistas de la construcción de su teoría nos dicen que las Galápagos, por ejemplo, le revelaron la existencia de la evolución de las especies. Sin embargo, como señalamos anteriormente, estudios recientes indican que no reconoció la importancia de las Galápagos hasta después de su regreso. Darwin no registró de qué isla provenían las especies que colectó, incluso utilizó colecciones de otros para investigar el problema de la especiación. Sólo gradualmente llegó a ser consciente de los problemas provocados por la distribución de las especies y aún no estaba preparado para ver a las aves u otros vertebrados como indicios importantes para entender el origen de las especies (Bowler, 1995; Ruiz y Ayala, 1988).

El viaje generalmente es investigado de manera retrospectiva; sabemos los aspectos que utilizó de sus descubrimientos en la construcción de su teoría y nos valemos de ello para evaluar lo que realmente hizo. Aunque la primera edición del "Diario del viaje" fue publicada en 1839, Darwin contribuyó a esto al escribir la segunda edición en 1842, donde plantea sus propias reflexiones sobre el significado del viaje, al que partió como naturalista parcialmente formado, con fuertes intereses en la zoología de invertebrados y en la geología pero con grandes lagunas en otros campos de conocimiento; regresó con sus intereses originales intensificados y con una creciente conciencia de los problemas derivados del estudio de la biogeografía en conjunción con su nuevo compromiso con el uniformitarismo.

De acuerdo con Ruiz y Ayala (1997) cuando Darwin sale en el Beagle acepta el paradigma de la Teología Natural; puede decirse que forma parte de un amplio programa de

investigación que tiene como objetivo central entender la creación. Entonces, era fijista y creacionista (además con una fuerte influencia catastrofista). Cuando regresa, ya uniformitarista, analiza sus observaciones, la distribución de los organismos que colectó y encuentra que no encajan con las concepciones existentes. En la organización de sus notas al regreso del viaje (finales de 1836) y en la redacción del "Diario del viaje" (primavera de 1837), la confrontación entre sus observaciones y el creacionismo mostraban un desajuste. Ya evolucionista, inicia la búsqueda de una teoría que satisfaga sus nuevas ideas.

En julio de 1837 abrió su primer cuaderno de notas sobre el tema de la transmutación de las especies, iniciando el proceso que lo llevó a la construcción de la teoría de la selección natural. El primer diseño razonablemente comprensivo de esta teoría fue escrito en 1842.

3.3. DE 1837 A 1842. EL SURGIMIENTO DE LA TEORÍA.

A. Primera crisis. El paso del fijismo al evolucionismo (sin tener el mecanismo).

Tanto en su visión geológica como en su visión sobre los seres vivos, hasta antes de la primavera de 1837. Darwin coincide con los planteamientos de Lyell:

- ❖ La fijeza de las especies, es decir creía que las especies eran entidades inmutables. Rechazó las ideas transformistas de Lamarck y las de su abuelo Erasmo;

- ❖ Podía haber extinciones y actos de creación locales;

- ❖ Los cambios geológicos eran graduales, se oponía a explicaciones catastrofistas en lo general, en particular reconocía que podía haber catástrofes locales como terremotos, vulcanismo, etc.;
- ❖ Acepta la extinción como un proceso que ocurre gradualmente por las muertes sucesivas de los individuos. Igualmente acepta como explicación de la extinción, la guerra entre especies y la falta de adaptación ante cambios ambientales;
- ❖ Acepta la idea de adaptación perfecta, (en tanto Dios diseña sus criaturas, cada órgano es perfecto para la función que deberá realizar);
- ❖ Cree en el balance de la naturaleza como un modelo de argumentación en la cuestión de las especies (sí una especie se extingue hay una nueva creación de una especie equivalente);
- ❖ Admite que el número de especies permanece constante, es decir, a la extinción correspondería la creación de una especie de similar nivel de complejidad.

Cuando regresa a Londres e inicia la redacción del Diario del viaje, recibe ya clasificados todos los especímenes que había colectado y enviado a Inglaterra, es entonces, que inicia la reflexión sobre las anomalías que él encuentra entre sus observaciones y las ideas de Lyell. Entre las anomalías más importantes se pueden mencionar:

- La existencia de un número mayor de especies en los continentes respecto a las islas cercanas. (Era una observación contradictoria pues la teología natural no podía explicar porque se crearían menos especies en islas que en continentes);

- La ausencia de cierto tipo de especies, por ejemplo de anfibios (debido a que sus huevos no resisten el agua salada) o mamíferos (con excepción de murciélagos) en islas muy alejadas de los continentes. (Era contradictorio que no hubiera tipos completos de especies en lugares donde se encontraban las condiciones ambientales para su existencia);
- La presencia de especies similares en ambientes diferentes y el que hubiera ambientes equivalentes donde no se encontraban especies parecidas. (Esta idea es contradictoria con una noción de creación de especies perfectamente adaptadas al ambiente para el que fueron diseñadas);
- La observación de fósiles en lugares donde no había habido cambios climáticos, era contradictoria con la noción de extinción de la teología natural. Según Lyell la extinción podría ocurrir sólo en dos condiciones: debido a cambios ambientales a los que las especies no pueden seguir indefinidamente, y porque las especies lleguen a una edad de vejez y se extingan.

A partir del análisis de las contradicciones de las teorías prevalecientes, Darwin llega a la conclusión de que todas esas incongruencias pueden explicarse mejor si se acepta la idea de la transmutación. Un paso esencial en la metodología de Darwin fue el contrastar sus observaciones con las teorías vigentes. Como concluyó que la teología natural no daba cuenta de una serie de observaciones abandonó esa tradición e inició un nuevo programa de investigación. Esto constituyó una revolución científica.

Tal vez esta crisis pueda interpretarse -en el caso de la enseñanza del evolucionismo- como una necesidad de convencer primero a los alumnos del hecho de la evolución,

antes de explicarles la teoría. Aquí puede introducirse la idea de tiempo geológico, que como hemos visto, es fundamental para la comprensión del evolucionismo.

B. Segunda crisis. De la Adaptación perfecta a la adaptación diferencial.

El paso de las ideas de adaptación perfecta, es decir, la adaptación como un hecho dado o la idea de adaptación diferencial como un proceso incluyó:

> El estudio de la problemática de la variación.

La forma en que Darwin abordó la variación es de gran interés para la comprensión del surgimiento de su teoría. Para aclarar ese problema Darwin va a tratar de comprender cuál es el vínculo entre las variaciones que se producen y la posterior formación de variedades permanentes de especies. Con ese propósito leerá los trabajos de hibridólogos, horticultores, criadores, etc., intentando dilucidar el proceso de aparición y de conservación de las variaciones. Muy pronto reconoce la importancia de las variaciones: son heredables ("sin tendencia al retorno") y que pueden ser "indefinidas", esto es ilimitadas en extensión.

Un paso fundamental para la elaboración de esta tesis fue el reconocimiento de Darwin de que las variaciones no son en si mismas adaptativas, esta es la noción que diferencia el concepto de adaptación de Lamarck y Darwin (y la de los estudiantes). Para Lamarck toda variación es adaptativa pues es el resultado instantáneo de la acción del organismo, que tiene por objeto mejorar su relación con el ambiente. En Darwin, a partir de ese momento (vimos que previamente también sostenía una idea de adaptación instantánea) la adaptación es un proceso que se inicia con la aparición de la variación y por lo tanto puede seguir dos vías distintas dependiendo del origen de la

variación. Si ésta surgió por acción directa del medio o por uso o desuso de los órganos (por las formas lamarckianas de variación) tal variación es inmediatamente adaptativa y su incorporación a los caracteres generales de la especie podrá ser reforzada por la selección natural pero evidentemente no será rechazada. En cambio, si la variación se originó espontáneamente, no es adaptativa en sí misma, su carácter, adaptativo o no, va a depender de la relación organismo cambiante - medio, si la variación mejora esta interacción la selección natural favorecerá al portador, lo rechazará en el caso contrario (Ruiz, 2002; Ruiz y Ayala, 1999).

La comprensión de este segundo tipo de variación es uno de los aportes más importantes de Darwin al evolucionismo. Sin esta noción no se entendería la evolución como un fenómeno estocástico. Que las variaciones sean espontáneas no significa que sean necesariamente al azar, Darwin las consideró espontáneas porque reconoció su ignorancia del proceso que las produce. En donde hay azar y no ignorancia, es en el efecto adaptativo o no de las variaciones. Una misma variación puede resultar favorable en un ambiente, perjudicial en otro, incluso ser adaptativamente neutra.³

➤ El paso del pensamiento tipológico al poblacional.

Una vez que Darwin estuvo convencido del hecho de la evolución, abandonó las ideas creacionistas; se propuso buscar un mecanismo que permitiera explicar los problemas centrales del evolucionismo: adaptación y diversidad. Debido a la impresión que le causaban las grandes diferencias entre la población de fueguinos (habitantes de la Tierra del Fuego en la Patagonia) y las poblaciones europeas empezó a analizar

³ A pesar de que Darwin entendió la importancia de la variación en la evolución y de que la integró de manera adecuada con la selección natural, sus análisis de diversos trabajos de variación en domesticidad y los que él mismo realizó sobre la variación en la naturaleza, (de los cuales el más destacado, por ejemplo, es el de los cirrípedos) no lo llevaron a nada respecto a los mecanismos de producción de la variación, ni tampoco de su transmisión.

importantes fuentes de investigaciones sobre humanos. Entre otras lecturas en ese momento leyó "Ensayos sobre población" de Thomas Malthus.

En 1838 Darwin señala en su autobiografía: "Quince meses después de haber empezado mi investigación sistemática, di en leer para distraerme "Sobre la Población" de Malthus, y estando bien preparado para apreciar la lucha por la existencia que se da en todas partes, por haber observado durante mucho tiempo los hábitos de los animales y las plantas, se me ocurrió de inmediato que bajo estas circunstancias las variaciones favorables tenderían a ser preservadas y las desfavorables a ser destruidas. El resultado de esto sería la formación de especies nuevas. Aquí, por fin tenía pues una teoría con la que trabajar" (Darwin, 1993).

Malthus se preguntaba si la miseria de los campesinos era consecuencia de la mala estructura de la sociedad o si era una ley natural. Se inclinaba más bien por la segunda opción, aceptando la hipótesis de que hay una ley que impone que parte de los seres vivos deben sufrir escasez. Sostenía que mientras el número de los individuos crece de acuerdo a una progresión geométrica (1, 2, 4, 8, 16, etc.), los alimentos sólo pueden crecer en progresión aritmética (1, 2, 3, 4, etc.); la desproporción entre el gran número de descendientes y la escasa cantidad de alimentos disponibles se torna cada vez más grande. A menos, planteaba, que existan guerras, epidemias u otros factores de destrucción, el exceso de nacimientos debe conducir a una fuerte competencia por los recursos, y a la eliminación de los más débiles en la implacable lucha por la sobrevivencia (Papp, 1983).

El enfoque malthusiano fue la clave para la solución de uno de los problemas que Darwin había considerado en la gestación de su teoría. El doble factor: por una parte, la lucha por los recursos que escaseaban, la competencia por la vida, por otra, la

selección de los más fuertes y la correlativa eliminación de los débiles, reemplazaría en la naturaleza la intervención del creador y su efecto consistiría en la causa motriz de la evolución de las especies (Limoges, 1976).

La primera gran inferencia de Darwin a partir de la lectura de Malthus, fue que el crecimiento exponencial de la población, combinado con una cantidad de recursos fija, conduciría a una dura lucha por la existencia. De esta manera, sólo cuando se aplica el pensamiento poblacional a la lucha por la existencia se puede hacer el cambio conceptual clave de reconocer la lucha por la existencia entre individuos de una población. En esto consistió la comprensión nueva y decisiva de Darwin, resultado de la lectura de Malthus. Si, en todas las especies, la mayoría de los individuos de cada generación no tiene éxito, entonces debe existir una desmesurada lucha competitiva entre ellos para lograr su supervivencia. Fue esta conclusión la que llevó a Darwin a pensar en otra serie de hechos que habían permanecido en su inconsciente, pero que, hasta ese momento, no había podido utilizar.

Mayr (1992) sostiene que se requería un pensamiento poblacional para reinterpretar a Malthus, mismo que fue desarrollado gradualmente por Darwin durante ese año y medio. El concepto de competencia entre individuos carecería de sentido evolutivo si los individuos fueran tipológicamente idénticos: si todos tuvieran la misma esencia. De esta manera, la competencia adquirió significado evolutivo hasta que se desarrolló el concepto de variabilidad entre los individuos de una misma población. Esto es una de las revoluciones conceptuales más drásticas del pensamiento occidental.

En el curso de sus lecturas, Darwin no pudo evitar aprender la lección de los criadores: que cada individuo del rebaño es diferente a todos los demás y que debe extremarse cuidado para elegir a los machos y hembras que han de engendrar en la

siguiente generación. No es casual que Darwin estudiara esto con tanta dedicación durante los 6 meses que precedieron a la lectura de Malthus. Sin embargo, no fue el proceso de selección, sino el hecho de las diferencias entre los individuos lo que Darwin revaloró cuando se dio cuenta de la importancia de la competencia entre los individuos. Aquí encontramos la coincidencia entre exceso de fertilidad e individualidad que de manera conjunta proporcionan la base de una conceptualización radicalmente nueva. La variación puede tener un significado evolutivo - puede ser seleccionada - sólo si al menos en parte es heredable, aunque no se conocieran los mecanismos de la herencia. De hecho Mayr sostiene que no es requisito indispensable tener una teoría correcta de la herencia para explicar la teoría de la selección natural.

De esta manera, Darwin conoce en la economía política clásica una interacción que la biología no ha descubierto, la competencia al interior de una especie, la lucha entre organismos que requieren los mismos recursos. Cuando lee a Malthus, Darwin está muy enterado de la problemática de la variabilidad y relaciona dos cuestiones esenciales: variación y lucha por la existencia, de ahí el paso fundamental en toda esta historia: los organismos son diferentes, tienen que luchar entre ellos porque los recursos son limitados, los organismos más fuertes triunfan en esa lucha, es decir, son diferentes en cuanto a su aptitud. De sus lecturas sobre cultivos aprendió la importancia de seleccionar a los progenitores de ahí el término de selección (Ruiz y Ayala, 1999).

Así, la relación entre la noción de adaptación diferencial (las variaciones dan a los organismos diferentes grados de adaptación) y la idea de que el tamaño poblacional se mantiene porque la limitación de recursos hace inevitable la lucha por existencia, surge el concepto de selección natural. La idea de adaptación diferencial entre los organismos es conclusión original de Darwin, no se encuentra en Malthus, para éste la eliminación

del exceso de población no se da por características biológicas que favorezcan a algunos miembros de la población (Ruiz y Ayala, 1998).

En suma, esta importante crisis, cuando Darwin siendo evolucionista aún no tenía un mecanismo preciso, es resuelta gracias a que en Malthus encuentra el análisis poblacional; aquí Darwin entiende el tamaño de la población como resultado de las interacciones entre individuos, es decir, como resultado de la reproducción o la ausencia de reproducción de cada individuo, de las tasas de mortalidad y natalidad de la población; es claro que unos individuos mueren y otros no, que unos tienen descendencia y otros no, que unos tienen mayor número de descendencia que otros. Darwin atribuye tales diferencias a características biológicas a un mejor o menor grado de adaptación, esto lo lleva a la idea de adecuación diferencial que en presencia de una constante competencia por la prevaeciente limitación de recursos, lleva a la selección natural.⁴

El paso siguiente fue buscar evidencias para su teoría, en esto se pasó los 20 años siguientes hasta que la llegada de un artículo de un naturalista 14 años menor, donde exponía una explicación de la evolución casi idéntica a la de él, le obligó a publicar sus ideas, a escribir *El origen de las especies*, donde plantearía las ideas fundamentales del evolucionismo actual.

⁴ Para quienes deseen abordar el planteamiento de la teoría de la selección natural desde un punto de vista epistemológico pueden revisar a Martínez (2001), quien hace un análisis del desarrollo de esta teoría, como patrón de explicación científica.

4. DESPUÉS DE DARWIN

La publicación de *El Origen de las Especies* en 1859 causó una gran excitación pública, tanto en el ámbito científico, como en el político y religioso. Se leyó y discutió el libro, defendiendo o negando las ideas de Darwin.

La dificultad más seria que enfrentó la teoría de Darwin fue la carencia de una adecuada explicación de la herencia que diera cuenta de la preservación de las variaciones sobre las que actuaba la selección natural. La herencia mezclada no explicaba satisfactoriamente este proceso.

En 1900, simultáneamente Hugo de Vries, Carl Correns y Erich Tschetmarck publican sus trabajos donde confirman los resultados obtenidos por Gregorio Mendel 35 años antes. Mendel sostenía que la herencia se transmite en unidades discretas que son disociables y combinables de manera matemáticamente predecible. De esta manera, Mendel, sin que Darwin lo supiera, había empezado una serie de descubrimientos que resolverían el problema que en 1867 Jenkin le había planteado: la mezcla de material hereditario diluye los caracteres y hace desaparecer las diferencias. Mendel mostró que los caracteres parentales no se mezclan y se transmiten sin cambio a las generaciones siguientes (Ruiz y Ayala, 2002).

Los descubrimientos de Mendel permanecieron desconocidos hasta que en 1900, fueron simultáneamente redescubiertos por varios científicos en el continente. Mientras tanto, en la última mitad del siglo XIX, el darwinismo enfrentó a una teoría alternativa denominada neolamarckismo, que destacaba la importancia del uso y desuso en el desarrollo y atrofia de los órganos y la idea de que el medio actúa sobre las estructuras orgánicas, lo cual explica la adaptación sin requerir la presencia de la selección natural.

Un avance importante en este debate tuvo lugar alrededor de 1880 cuando Weismann (1834-1914) aplica los recientes descubrimientos de la citogenética a su teoría de la herencia. Uno de sus objetivos era demostrar la imposibilidad de la "herencia suave" y, por tanto, mostrar que la variación hereditaria (herencia dura) y la selección natural son mecanismos suficientes para explicar la evolución. En un famoso experimento, corta la cola a 20 generaciones de ratones, y encuentra que dicha modificación no se transmite a la descendencia. Relacionó sus resultados con los hallazgos citogenéticos acerca de la meiosis y argumenta que la separación de células sexuales y somáticas ocurre en una etapa temprana por lo que no hay posibilidad de un intercambio de material entre ambos tipos celulares: por lo tanto, los cambios en las células somáticas no pueden transmitirse a las células sexuales, rechazando de esta manera la noción arraigada de la herencia de los caracteres adquiridos. Sin embargo, a pesar de tener ideas avanzadas en algunos campos de la teoría evolutiva, Weismann se mantuvo dentro de la corriente recapitulacionista del siglo XIX (Ruiz y Ayala, 2002).⁵

Después del redescubrimiento de la teoría de Mendel, se le dio énfasis al papel de la herencia en la evolución. De Vries relacionó "los elementos" de Mendel con los "pangenes" de Darwin. En esta línea, Johannsen acuñó el término de gene. De Vries propuso una nueva teoría de la evolución conocida como mutacionismo, que elimina a la selección natural como el mecanismo evolutivo principal. Al contrario que Darwin, pensó que las variaciones importantes en evolución, son las mutaciones que provocan cambios notables - discontinuidades- en los portadores. La variación individual, materia prima de la evolución gradual de Darwin, no tiene consecuencias en la evolución porque produce cambios pequeños, continuos, que no pueden llevar a la transgresión de los límites de la especie. El papel de la selección natural, para los mutacionistas, sólo podría ser eliminar las

⁵ Este tema es muy importante porque es común que los estudiantes mantengan la idea de la herencia de los caracteres adquiridos, por lo que el análisis de estos experimentos en el aula ayudaría mucho a los alumnos a modificar sus preconcepciones respecto a este punto.

variaciones deletéreas. En esto coincidieron otros genetistas como Bateson y Johanssen, que formaron parte de esta corriente que tuvo un gran éxito en la primera década del siglo XX, etapa que Bowler (1985) denomina "el eclipse del darwinismo".

El mutacionismo fue rechazado por muchos naturalistas, en particular por los biometristas, encabezados por Karl Pearson; quienes defendían la selección natural como causa principal de evolución vía los efectos acumulativos de pequeñas y continuas variaciones individuales. Sin embargo, exageraron el argumento, planteando que sólo las variaciones muy pequeñas, no limitadas por la herencia de Mendel, pasaban de una generación a la siguiente. Las variaciones discontinuas, que seguían las leyes de Mendel, eran de poca importancia en la evolución.

Los avances teóricos y experimentales de la genética permitieron entender que no hay contradicción entre las evidencias sobre el surgimiento de la variación genética y la selección natural. Por ejemplo, la heredabilidad de la variación continua se resolvió cuando se comprendió que las variaciones pequeñas y las grandes se deben a modificaciones del material genético. Se descubrió también que varios genes pueden participar en la construcción de un carácter (poligenia) y que un gen puede participar en la construcción de varios caracteres (pleiotropía).

4.1. LA PRIMERA SÍNTESIS: FISHER, WRIGHT Y HALDANE.

La solución final de la controversia entre mutacionistas y biometristas tuvo lugar entre las décadas de los veinte y los treinta gracias al trabajo de muchos genetistas. Quienes destacaron por la genialidad de probar que los pensamientos de Darwin y Mendel son complementarios fueron: Fisher y Haldane de Gran Bretaña y Wright de Estados Unidos.

Con su trabajo recuperaron al darwinismo como teoría vigente de la evolución, brindaron una estructura teórica para la integración de la genética de poblaciones a la teoría de la selección natural. Los tres tuvieron como objetivo central de su trabajo, el unificar pensamientos que se consideraban contradictorios entre sí: el de Mendel y el de Darwin.

Fisher se dio cuenta, al igual que De Vries y Bateson, entre otros, que los factores individuales no se mezclan vía el entrecruzamiento, por lo que la variabilidad se conserva. El problema de Darwin de la pérdida de variabilidad por el cruzamiento y la supuesta mezcla de caracteres que conducía a la homogeneización de las poblaciones, queda resuelto de manera explícita por los cálculos matemáticos de Fisher. Otro aspecto que se planteó fue mostrar la importancia fundamental de la herencia sobre la acción del ambiente.

En *On the dominance ratio* publicado en 1922, Fisher discute la interacción de los diferentes mecanismos de evolución, la selección, la mutación, extinción al azar de genes y otros procesos relacionados, como dominancia y apareamiento al azar. Para él, la selección natural es el mecanismo evolutivo más importante, consideró que la evolución estaba orientada hacia el aumento de la adaptación; por la misma razón, pensó que las condiciones ideales para que haya evolución se dan en poblaciones grandes. De esta manera, una mutación tendrá mayor posibilidad de fijarse a bajas frecuencias en una población grande en vez de una pequeña, porque la mutación sobrevivirá con mayor frecuencia en la primera. La consecuencia de este punto de vista es que una tasa pequeña de mutación puede balancear los efectos adversos de la selección en una población grande, más fácilmente que en una población pequeña, concepción fundamental para la visión evolutiva de Fisher. Destacó de manera fundamental dos cuestiones: el tamaño grande de las poblaciones y la pequeñez de las variaciones (Ruiz y Ayala, 2002).

Para Wright, la evolución es resultado de la acción de varias fuerzas que actúan al mismo tiempo sobre los organismos, pero con intensidades diferentes: el tamaño de la población, la tasa de mutación, la proporción de recombinación y endogamia, la selección natural y la deriva génica.

Según Wright, si una población es muy pequeña la fijación de genes será completamente al azar; poca variación, muy poco efecto de la selección y por lo tanto una condición estática, que sólo se modificará ocasionalmente por fijación al azar de una nueva mutación; esto conducirá a la degeneración o extinción. La situación inversa no es tampoco adecuada para la evolución. Una población muy grande presenta una tasa de mutación alta y la presión de selección es muy fuerte, por tanto habrá fijación del gene favorecido en cada locus (lo cual reduce la variabilidad de la población por el desplazamiento de genes no favorecidos).

Una de las principales aportaciones de Wright es su metáfora de la topografía o paisaje adaptativo. Con esta representación gráfica muestra su concepción de evolución como un mecanismo en el que las especies buscan continuamente su camino de picos bajos a picos más altos. Considera que además de la selección natural existe otro mecanismo de ensayo y error a gran escala que permite a las especies explorar las regiones cercanas al campo que ocupan. Este mecanismo es la deriva genética.

Para Wright una de las cuestiones más importantes en evolución es encontrar los mecanismos por los que una especie puede formar combinaciones genéticas más adecuadas. Uno de estos mecanismos es la formación de clones y otro es la subdivisión de la población en demas. El azar puede provocar, en clones en menor medida que en demas, el surgimiento de nuevos sistemas de interacción genética que resulten en combinaciones genéticas superiores. En estas condiciones la evolución puede ser más rápida y habrá posibilidades de especiación. De esta manera, el principal mecanismo evolutivo en el origen

de las especies debe ser uno esencialmente no adaptativo, así la deriva génica juega un papel fundamental en la especiación, lo cual le da un carácter no necesariamente adaptativo (Ruiz y Ayala, 2002).

4.2. LA TEORÍA SINTÉTICA O NEODARWINISTA.

En 1937 T. Doszhanaky publicó el libro *Genética y el origen de las especies*, el cual ofrece una explicación razonable y comprensible del proceso evolutivo en términos genéticos, apoya los argumentos teóricos con evidencias empíricas y puede ser considerado como el suceso más importante de la formulación de la teoría neodarwiniana, ya que plantea la síntesis de la selección natural darwiniana con la genética mendeliana. Otros autores deben ser considerados como arquitectos de la teoría neodarwinista: Mayr, Huxley, Simpson y Stebbins.

Estos investigadores impulsaron los estudios evolutivos tanto en las disciplinas biológicas tradicionales, como en las de reciente origen (genética y ecología de poblaciones, por ejemplo). A partir de 1947, en un famoso Congreso realizado en Princeton, la teoría neodarwinista surge como una corriente de pensamiento que establece un amplio acuerdo con Darwin, a excepción de la idea de la herencia de los caracteres adquiridos. Alrededor de 1950, la aceptación de la teoría de la Darwin fue universal entre los biólogos y la teoría sintética fue ampliamente aceptada.

Las variaciones individuales de aparición gradual y continua que propone Darwin, se reconocen como mutaciones de los genes producidas espontáneamente y sin dirección adaptativa. Su efecto positivo o negativo se debe al azar, y la selección natural juega el papel no azaroso en la evolución. Se enfatiza el carácter poblacional de la evolución al considerar que las especies son conjuntos de poblaciones aisladas reproductivamente, que

interactúan en un ambiente dado con organismos de su misma especie, con los de otras, así como con los agentes físicos. Estas interacciones, la mutación y la recombinación explican la gran diversidad de los seres vivos. Así, los postulados esenciales de la teoría sintética son: la evolución es gradual e implica dos procesos fundamentales: uno azaroso - la producción de variación- y uno determinístico -la selección adaptadora-. Otro punto de coincidencia fue demostrar la naturaleza dual de la evolución: adaptación al interior de la especie y diversificación a todos los niveles taxonómicos a partir del proceso de especiación.

A pesar de estos puntos de coincidencia, cada uno de los constructores de la síntesis conservó puntos de vista particulares en diversos aspectos del proceso evolutivo.

Dobzhansky por ejemplo, dada la importancia del nivel poblacional en evolución, estableció que existen varios tipos de poblaciones y definió una población mendeliana como "una comunidad reproductiva de individuos que comparten un acervo común". Planteó que el genotipo de una población esta en función de la constitución genética de los componentes individuales. Pero, considera que las reglas que gobierna la estructura genética de una población son diferentes de la de la genética de los individuos. Desde esta perspectiva, definió a la evolución como un cambio en la composición genética de las poblaciones. De esta manera, las modificaciones producidas por el ambiente que afecten al fenotipo, no representan cambios evolutivos a menos que estén acompañadas de cambios genéticos. Lo que cuenta en el proceso evolutivo son los fenotipos producidos por la interacción del genotipo de un organismo con el ambiente. Reconoce de manera permanente que los cambios en la composición genética (no sólo en las frecuencias) tienen lugar en un sistema ecológico en modificación permanente. En esta interacción, la selección natural -como Darwin planteó- evalúa incansablemente a los organismos, y ajusta a las especies a su medio de manera permanente. En este sentido, la selección natural es oportunista, y

favorece a los organismos que resuelven los problemas que les plantea el ambiente. La gran variabilidad que existe en una población permite dar respuesta a los problemas que los organismos deben enfrentar (Dobzhansky, et al 1983).

Otro de los intereses de Dobzhansky fue el papel de la estructura poblacional en la preservación de la variabilidad y sus consecuencias en la formación de nuevas especies. Por ello planteó importantes aportaciones a la comprensión de la forma en que actúan los diferentes tipos de aislamiento en el proceso de especiación. Propuso el término de "mecanismos de aislamiento" y posteriormente el de "mecanismos fisiológicos de aislamiento" para designar a las propiedades biológicas de los individuos que impiden el intercambio de genes en poblaciones reales o potencialmente simpátricas. Define a la especie como una etapa del proceso de especiación en el que un conjunto de individuos con entrecruzamiento real o potencial se segregan en dos o más conjuntos que quedan separados porque están impedidos fisiológicamente para la reproducción (Ruiz y Ayala, 2002).

Ernest Mayr por su parte, incorpora la sistemática a la síntesis; su liderazgo fue crucial para lograr acuerdo en puntos conflictivos, como la gradualidad de la evolución o la importancia de la deriva génica. Mayr, Dobzhansky y Simpson lograron que se considerara a la selección como el principal mecanismo que orienta las dos fases de la evolución (adaptación y diversificación), lo que fue llamado por sus críticos el carácter adaptacionista y seleccionista de la teoría neodarwinista. Sin embargo, el énfasis en la selección de caracteres adaptativos no resta importancia a otros mecanismos de evolución (la deriva génica tiene un papel importante en el planteamiento del principio del fundador) (Mayr, 1968).

Entre las principales aportaciones de Mayr a la síntesis fueron: su énfasis en el pensamiento poblacional (la consideración de que la especies son agregados de poblaciones aislados reproductivamente), los efectos de los factores ecológicos; el concepto biológico de especie; las formas de especiación, entre muchos otros aspectos.

Mayr defendió la idea de que la unidad de evolución es el organismo como un todo y no los genes; no obstante, la selección puede enfocarse a uno de los componentes del fenotipo, por ejemplo, el ojo, una flor, etc. -selección ambiental-. Con esto implicó que la capacidad de desarrollar determinados fenotipos como respuesta al ambiente (la norma de reacción), la recombinación y la regulación génica son tan importantes para la selección como la mutación.

Otra aportación importante fueron sus trabajos sobre especiación. De manera particular, la clarificación de los principios de especiación alopátrica y su modelo del principio del fundador. Se niega a aceptar los modelos de especiación simpátrica como algo más que una forma limitadas de especiación. Fue el primero en proponer que el término especiación se refiera exclusivamente a eventos de multiplicación de especies; dejando de lado a la evolución filética y la fusión de especies. Su concepto biológico de especie se refiere a grupos de entrecruzamiento real o potencial que están aislados reproductivamente de otros grupos.

Georges Simpson en su libro *Tiempo y modo en la evolución* publicado en 1944 sintetiza el conocimiento genético, microevolutivo con el conocimiento paleontológico, macroevolutivo. Plantea que factores evolutivos como la tasa y efecto de mutación, la variabilidad, la selección natural, el tamaño poblacional, el tiempo generacional, etc. pueden dar cuenta de la evolución a todos los niveles. Simpson aceptó que la variabilidad dentro de las poblaciones y no entre poblaciones, es determinante en las tasas evolutivas. Asumió que

las mutaciones son raras si se considera cada gen, pero no si se considera una población y que las mutaciones con efecto pequeño son mucho más frecuentes que las de grandes consecuencias. Planteó que las tasas de evolución son más dependientes del tiempo que del período generacional. La selección natural determina la dirección de la evolución de acuerdo a las condiciones ambientales y a las variaciones existentes en una población (por ello la selección natural es oportunista), para mantener la adaptación de una especie. Sostiene que la selección natural es un proceso creativo.

Piensa que el tamaño poblacional es un factor importante con relación a la cantidad de variación y con los tipos de selección que pueden darse en poblaciones grandes o pequeñas. En estas últimas la deriva génica puede tener un efecto importante.

Discute la continuidad entre la microevolución, como cambio dentro de una especie, y la macroevolución, como cambios en categorías superiores a género: los diferentes tiempos evolutivos y su relación con los modos de evolución (filética, especiación, evolución cuántica). Su estudio del *tiempo* se refiere al análisis de las tasas de evolución, su aceleración y desaceleración, las condiciones de evolución rápida o muy lenta y los fenómenos que sugieren inercia e ímpetu. Con respecto al *modo*, se refiere al estudio de las vías, las formas y patrones de evolución.

A diferencia de Mayr que consideró que la especiación es la forma más frecuente de aparición de especies, Simpson sostiene que el modo predominante es la evolución filética, la cual es resultado de la transformación continua y gradual de las poblaciones en los linajes. Desde su punto de vista, este tipo de evolución es resultado de un cambio direccional sostenido en los caracteres de una población y generalmente se presenta en poblaciones grandes. Puede ser la respuesta de una población a un ambiente estable donde se han presentado cambios que exigen la reorientación en la adaptación, por lo que puede

producirse una tendencia a la especialización; o, puede ocurrir que haya un cambio en la dirección de la adaptación, en este caso puede involucrar ramificación.

Simpson planteó un concepto evolutivo de especie, como un linaje (una secuencia de poblaciones ancestral-descendiente) que evoluciona separadamente de otras con un papel evolutivo y tendencias unitarias.

Como Darwin, interpretó el registro fósil como resultado de fallas en el proceso de fosilización o en lo incompleto de los estudios paleontológicos; pero, también atribuyó las discontinuidades a tasas usualmente rápidas de evolución., que pueden deberse en parte a la reducción del tamaño poblacional, en especial cuando coincide con la invasión de nuevos nichos o zonas adaptativas; a este proceso lo denomina evolución cuántica (Ruiz y Ayala, 2002).

4.3. POLÉMICAS ACTUALES.

Teoría neutralista de la evolución molecular

La teoría neutralista constituye una explicación alternativa a algunos aspectos del proceso evolutivo, la cual establece algunas divergencias con la teoría evolutiva neodarwiniana. Estas propuestas se derivan de estudios en el ámbito molecular, que aportan elementos distintos para entender el proceso evolutivo. El punto principal que establece la teoría neutralista es que la mayoría de los genes mutantes son selectivamente neutros, es decir, no tienen ni más ni menos ventajas adaptativas que los genes que sustituyen. Por lo tanto, la mayoría de los cambios evolutivos se deben a la deriva génica de genes mutantes selectivamente equivalentes.

Los neutralistas sostienen que algunos mutantes pueden difundirse en una población sin tener ninguna ventaja selectiva, o si son selectivamente equivalentes a alelos preexistentes, su suerte depende del azar. En el curso de esta deriva aleatoria, la gran mayoría de los alelos se pierde por azar, pero una fracción se fija en la población. Si las mutaciones neutras son frecuentes y la deriva génica es continua durante un largo periodo de tiempo, la composición génica de la población cambia significativamente.

Los neutralistas suponen que los genes neutros son funcionales, ya que la proteína codificada sólo debe funcionar igual de bien que la que sustituye. La existencia de formas moleculares distintas no muestra la acción de la selección natural, que según Kimura (1979), sólo se conoce a través de investigaciones sobre tasas de sobrevivencia y fecundidad.

En términos de la evolución molecular, lo importante no es la mutación génica en el individuo sino la sustitución génica en la población. En el caso de los mutantes ventajosos la tasa de sustitución esta condicionada por el tamaño de la población, la ventaja selectiva, así como por la tasa de mutación. En las mutaciones neutras la sustitución es debida al azar.

Finalmente, Kimura (1979) sostiene, la selección darwiniana actúa principalmente sobre fenotipos generados por la actividad de muchos genes. Las condiciones desempeñan un papel importante en la selección de fenotipos. A la selección darwiniana poco le importa cómo los fenotipos son determinados por los genotipos. Las leyes que rigen la evolución molecular son claramente diferentes de los de la evolución fenotípica. Aunque la visión darwinista de la selección natural prevalezca en el ámbito

fenotípico, en molecular, la gran parte de los cambios evolutivos están impulsados por la deriva génica.

Teoría de los Equilibrios Puntuados.

Una de las polémicas recurrentes en el evolucionismo se refiere a la gradualidad del proceso evolutivo. A partir de estos cuestionamientos se plantea la teoría de los equilibrios puntuados. Algunos autores cuestionan las interpretaciones de Darwin y Simpson de que el registro fósil muestra huecos debido sobre todo a faltantes en la fosilización y a fallas en el estudio paleontológico; y sostienen que los vacíos en el registro se deben a que la evolución morfológica ocurre de manera abrupta precediendo a una etapa sin cambios. Esto significa que los huecos del registro fósil son el resultado de la forma en que se forman especies nuevas, y no hay que esperar que aparezcan formas intermedias puesto que nunca existieron. Su punto de vista sostiene que de manera más o menos súbita aparece una nueva especie que existirá sin cambios hasta su extinción. La nueva especie surgirá de una población marginal, separada geográficamente de su progenitora. Esta sería la forma más frecuente de evolución, sino prácticamente la única. En suma, esta teoría sostiene que la evolución ocurre en dos etapas: una rápida en la que surge una nueva especie y es donde se presentan la mayoría de los cambios morfológicos (especiación) y una subsecuente en la que los cambios son virtualmente inexistentes (estasis). Rechazan que la evolución filética pueda ser un evento frecuente en la evolución (Gould, 1980; Eldredge, 1982).

Otro aspecto que critican los puntualistas, entre muchos otros, es la preminencia que la teoría sintética da a la selección natural en todos los niveles educativos. Eldredge por ejemplo, considera que es una extrapolación innecesaria el extender el modelo darwiniano de cambio evolutivo de generación en generación en el tiempo geológico. El

punto es que la selección natural es ante todo un filtro y no un agente que moldea a los organismos en el tiempo.

5. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL DESARROLLO DEL EVOLUCIONISMO.

Lo expuesto en este capítulo nos muestra que el evolucionismo no constituye una disciplina unitaria y homogénea. Desde las primeras explicaciones que se han dado sobre la evolución de las especies se han generado controversias importantes relacionadas con diversos aspectos. Después de la publicación del *Origen de las especies* en 1859 se aceptó el hecho de la evolución, pero se cuestionó fuertemente acerca de los mecanismos que tienen lugar en el proceso; asunto que sigue generando polémica aún en nuestros días. Sin embargo, no puede negarse que existe un marco general unificador que da cuerpo a este gran programa de investigación que es el evolucionismo. La evolución es aceptada como un hecho y la selección natural como el principal mecanismo que explica la diversidad y adaptación de los seres vivos, además de la consideración de otros mecanismos como la deriva génica. La evolución es vista como un proceso en el que intervienen azar y necesidad. El azar producto de la recombinación genética y las mutaciones, y la necesidad, resultado de la respuesta que deben dar los individuos ante un ambiente cambiante e impredecible. De ahí la importancia de que los alumnos comprendan estos aspectos centrales, antes de revisar temas más específicos.

La evolución es un proceso complejo, en él intervienen muchas variables; su explicación abarca varios dominios como los moleculares, ecológicos, geológicos, etc., que emplean enfoques teóricos y metodológicos distintos determinados por el objeto de estudio y los enfoques metodológicos de cada campo de conocimiento. Esto hace que muchas veces se generen explicaciones aparentemente contradictorias, pero que muchas veces pueden

explicarse si consideramos que parten de distintas maneras de aproximarse al proceso. Esto no significa que la teoría sintética o neodarwinista constituya una teoría completa o acabada, obviamente esta en permanente revisión y existen explicaciones alternativas que ponen en duda algunos planteamientos que la sustentan, como el neutralismo o el puntualismo. Pero, lo que es importante destacar que no existe un programa de investigación validado por la comunidad científica que plantee bases distintas para explicar el proceso evolutivo, en términos de Lakatos (1978), el centro firme del programa sigue manteniéndose; mientras que las teorías auxiliares que lo soportan están en permanente revisión y modificación.

En suma, el evolucionismo debe ser visto como un programa de investigación amplio e integrador de lo vivo; que ofrece explicaciones en varios dominios de conocimiento; que existen aspectos del proceso que son plenamente aceptados por los científicos, mientras que existen otros que están siendo discutidos y analizados desde distintas perspectivas. Estas características muestran que un elemento fundamental para lograr la comprensión del proceso evolutivo en sus distintas dimensiones, lo constituye el mecanismo de la selección natural. Sin un adecuado entendimiento del papel "del azar y la necesidad" en este proceso, será difícil que los aprendices comprendan aspectos más particulares y complejos del evolucionismo contemporáneo.

CAPÍTULO III.

LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO ESCOLAR.

1. EL CONTEXTO EN EL QUE SE DA EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta para entender el proceso de enseñanza-aprendizaje, son las condiciones en las que se lleva a cabo este proceso. Dado que el aprendizaje de los estudiantes no se desarrolla de manera aislada, sino en contacto con otros (profesor, otros alumnos, etc.), es necesario considerarlo en su dimensión social. Aunque este proceso se produce en diversos contextos, el aula constituye el lugar natural de interacción escolar, por lo que empezaremos nuestro análisis en este espacio educativo.

El aula constituye un espacio social complejo en el que se articulan y dan significado una gran diversidad de procesos. Tiene un carácter didáctico porque constituye el lugar que tiene como intención formar estudiantes mediante la transmisión de conocimiento y de modelos sociales de comportamiento. Así, el aula es el lugar intencionalmente organizado para que tenga lugar el aprendizaje, o más específicamente, el acceso al conocimiento. Aún cuando es frecuente que el aprendizaje no se logre de manera plena debido a diversos factores, o que el aprendizaje tenga lugar en otros ámbitos, incluso extraescolares.

Campos y Gaspar (1996) proponen un enfoque holístico sobre el estudio del aula y plantean un conjunto de categorías integradoras y ordenadoras que analizan el aula como espacio social, lo que permite entender sus dimensiones particulares. Este modelo

nos presenta las condiciones en las aprenden los estudiantes y los profesores enseñan, lo que nos ayudará a comprender este proceso de una manera más integral. Para ello, plantean la propuesta teórica de la *Estructura Didáctica*, como un instrumento de análisis que ofrece la posibilidad de estudiar procesos que tradicionalmente han sido estudiados de manera separada.

La Estructura Didáctica (como se muestra en la figura 1) concibe al contenido de enseñanza como el núcleo de interacción del aula, mediante el cual se intersecta el proceso de enseñanza con el de aprendizaje. Esta constituye una intersección básica entre dos procesos diferentes: el de la intencionalidad escolar (enseñanza) y el de la construcción social de la realidad (aprendizaje), que generan diversos esquemas de interacción. El estudiante tiene una historia personal y escolar que no concuerda necesariamente con la del profesor y la de otros compañeros.

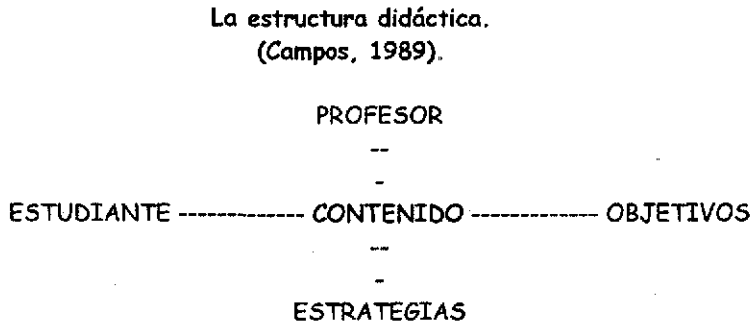


Fig. 1.

La característica específica de la interacción en el aula, es que por medio del contenido temático (único para todo el grupo) entran en contacto los sujetos involucrados y se generan procesos diferentes de interacción. Esta interacción se lleva a cabo a partir de las acciones y las actividades de profesores y estudiantes, en una relación que no es simétrica. Los profesores tienen la autoridad institucional para orientar el proceso

didáctico de acuerdo con su formación e interpretación del contenido de enseñanza, del sistema de acreditación y de los objetivos institucionales; posee mayor conocimiento de la materia, lo que le permite que pueda juzgar el conocimiento adquirido por el estudiante. De esta manera, el eje de la enseñanza constituye un factor regulador de las intenciones pedagógicas.

El estudiante puede aceptar, debatir, negociar y rechazar estas condiciones de interacción, configurando el eje del proceso de aprendizaje. De esta manera, el aprendizaje es un proceso formativo, ya que configura su comportamiento y su formación como individuo y sujeto social, al enfrentarse a una intencionalidad y orientación regulatoria por parte del maestro y ante lo cual reacciona de manera estratégica.

El contenido de enseñanza, de acuerdo con Campos y Gaspar (1996), es un discurso concentrado y selectivo de un campo disciplinario en el que están introducidos una serie de valores epistémicos. Supone aspectos fundamentales de la producción científica (teorías y métodos); de la construcción de la disciplina; de la práctica profesional (métodos, técnicas y procedimientos) y criterios de selección que resultan del consenso entre profesores o academias.

Debido a que el contenido está estructurado con base en formas lógico-conceptuales, el estudiante involucra procesos cognoscitivos. En cierto momento, el estudiante ha asimilado conocimientos con una cierta organización conceptual, la adquisición de nuevo conocimiento transforma la organización conceptual adquirida previamente. Esta estructura se organiza en el contexto de la interacción entre el estudiante y el profesor y los demás estudiantes. De ahí que se hable de que la construcción de conocimiento por parte del estudiante se basa en una relación social, ya que resulta de

la interacción entre los sujetos que intervienen en la estructura didáctica y el contenido (*Eje del aprendizaje: estudiante-contenido-objetivos*).

En la dimensión cognoscitiva del proceso de aprendizaje, como veremos con más detalle en los siguientes apartados, no sólo intervienen aspectos racionales y lógicos. El estudiante funciona con una racionalidad selectiva que involucra procesos simples de reconocimiento o memoria, además de valores, referencias, experiencias y creencias. Así, se enlazan la dimensión cognoscitiva con la valorativa, que considera "lo afectivo" de este proceso (Tobias, 1994; Pintrich, 1993).

Aunque el estudiante opera en función de las estrategias docentes, mediante su capacidad de trabajo, el estudiante genera estrategias propias de acceso al contenido. El profesor al no poder atender la variedad de estrategias que generan los estudiantes. Esto hace que tengan un carácter autónomo, pero no independiente del profesor. En este contexto, el conocimiento previo es fundamental en la adquisición y la construcción de conocimiento nuevo, pero el interés y los propósitos del estudiante son un mediador importante de este proceso (*Eje estudiante-contenido-estrategias*).

El profesor, por otra parte, introduce la intencionalidad en el aula, con la justificación institucional y académica. Pero, lo hace de acuerdo a su propia interpretación que resulta de su historia personal y su posición profesional o institucional.

Por medio de la práctica docente (formas de conducir la clase), que puede llevarse a cabo mediante un método de enseñanza (estrategia formal), el profesor presenta el discurso académico de manera subjetivada, es decir, tomando una postura ante él. De esta manera, el docente va conformando en el estudiante una forma de ver e interpretar la realidad. En este proceso el estudiante acepta el discurso y las prácticas

asociadas a él, renegociando aspectos contradictorios o ambiguos, o en algunos casos, lo rechaza, en un proceso que rebasa al aspecto didáctico (*Eje de la enseñanza: docente-contenido-estrategias*). Así, "El docente incide temporal y parcialmente en un proceso de aprendizaje que le precede y rebasa." (Campos y Gaspar, op cit, pag. 43).

El profesor, mediante la definición de objetivos implícitos o explícitos define aspectos que quiere que el estudiante desarrolle o adquiera. Estos siempre contemplan una o más de las siguientes dimensiones: cognoscitiva (construcción y uso de conocimiento), motivacional (*aprecio e interés*), de destrezas (*manejo de equipo e instrumental*), e ideológico-cultural (valores y actitudes) (*Eje profesor-contenido-objetivos*).

En suma, las consideraciones planteadas nos permiten entender los diferentes aspectos que interactúan en el proceso de enseñanza-aprendizaje y el papel que los sujetos - estudiantes y profesores- juegan dentro del proceso. Esta información es importante para los profesores ya que les puede servir para analizar y organizar su propia práctica docente y para comprender las dimensiones que intervienen en su trabajo en el aula; así como, para conocer de manera más profunda el papel de los alumnos y los diversos aspectos vinculados al aprendizaje escolar.

Un aspecto que no ha sido profundizado en este apartado, es el de la dimensión cognoscitiva vinculada a este proceso. Este tema será analizado en el siguiente inciso, esperando que nos ayude a explicar las dificultades que existen en el aprendizaje de la teoría de la selección natural, así como a plantear contenidos, actividades y recursos didácticos para favorecer su comprensión.

2. EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DEL CONSTRUCTIVISMO.

Durante mucho tiempo la escuela conductista fue dominante en los estudios sobre aprendizaje. La epistemología empirísta-positivista de Pearson fue "canonizada" por la psicología de Skinner quien planteaba que la conducta es lo que un organismo hace, refiriéndose a conductas observables. La epistemología empirísta de los conductistas requiere la observación de eventos a partir de los cuales es posible obtener registros no ambiguos que pueden ser usados para aceptar o rechazar hipótesis (Novak, 1982; Ruiz, 1983).

En contraparte del conductismo surge al paradigma constructivista en el campo de la pedagogía. Con este enfoque se ha dejado de concebir a los estudiantes como sujetos pasivos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por el contrario, se considera que los alumnos son individuos que seleccionan, asimilan, procesan, interpretan y construyen explicaciones sobre los contenidos que se le ofrecen en la escuela. Este proceso de construcción implica la confrontación de sus ideas previas, organizadas en estructuras conceptuales que presentan una cierta lógica (que obviamente no siempre concuerda con las lógicas científicas validadas actualmente), con la nueva información que se le enseña (Ausubel, 1979; Piaget, 1981; Novak, 1982; Ruiz, 1983; Posner, et al, 1982; Wandersee, 1985; Moreno, 1986; Matthews, 1989; Coll, 1990; Duschl y Gitomer, 1991; Villani, 1992; Linder, 1993; Chinn y Brewer, 1993).

Carretero y Limón (1997) señalan que el término constructivismo se ha convertido en uno de los más utilizados en ámbito del aprendizaje escolar. Sin embargo, las diversas formas en que este término se ha utilizado han hecho que adquiera cierta generalidad y vaguedad; aunque no puede negarse que el enfoque constructivista constituye un sólido punto de partida para investigar los procesos cognitivos y los relativos al

aprendizaje humano. Por ejemplo, Gutierrez (1987) sostiene que el constructivismo no constituye un enfoque homogéneo, más bien es un grupo plural que tienen en común ampliar el marco de la paternidad del constructivismo (contemplando las aportaciones de Piaget y Kelly) y la búsqueda de elementos teóricos que expliquen aspectos que el modelo de Ausubel no ha resuelto. De acuerdo con este autor existen al menos tres tendencias dentro de este paradigma: los que buscan formular los principios identificadores del constructivismo; los que centran la atención en explicar y resolver el problema de la resistencia al cambio de las ideas existentes en las mentes de los sujetos -creadores de la Teoría del cambio conceptual-; y, los generativistas, que incorporan los puntos de vista de la psicología del procesamiento de información al constructivismo de Ausubel, Piaget y Kelly.

Pese a los diferentes enfoques, las posturas actuales que se consideran constructivistas comparten la idea de que el conocimiento humano no es simplemente una copia de la realidad, ni sólo el resultado de las disposiciones innatas del individuo determinadas genéticamente, sino un producto de la interacción de ambos factores. En el proceso de interacción es cuando se produce la construcción de conocimiento por parte del sujeto, mediante la atribución de significados de la información que proviene de su entorno.

El aprendizaje escolar se concibe, entonces, como un proceso de construcción en el cual el estudiante atribuye un significado a algún contenido y la transformación de su propio conocimiento se concibe como un cambio conceptual. Esta actividad mental del alumno implica la construcción de significados, representaciones o modelos mentales del contenido a aprender. Así, la construcción de conocimiento en la escuela supone un verdadero proceso de "elaboración", ya que el estudiante selecciona y organiza

informaciones que recibe de diferentes canales (profesor, textos, interacción), estableciendo relaciones entre ellas.

Diversos autores sostienen que en este proceso el conocimiento previo que posee el estudiante tiene un papel fundamental, ya que cuando un alumno se enfrenta a un nuevo contenido a aprender, lo hace "equipado" con una serie de conceptos, concepciones, representaciones y conocimientos que ha adquirido en experiencias previas, que utiliza como medio de lectura e interpretación y que determinan en gran medida las informaciones que seleccionará, la forma como las organizará y las relaciones que establecerá entre ellas (Coll, 1990; Giordan, 1982, 1987; Otero, 1986; Sebastiá, 1989; Solé, 1990). El conocimiento previo se refiere a las estructuras conceptuales más o menos organizadas que poseen los estudiantes y que se mantienen a pesar de que tengan largos períodos de instrucción. A pesar de su importancia, no existe unanimidad en cuanto a la denominación de este fenómeno. Se le ha llamado "esquemas conceptuales alternativos", "teorías ingenuas", "concepciones alternativas", "errores conceptuales" - misconceptions-, "preconceptos", "concepciones espontáneas", teorías personales, teorías implícitas, etc. (Vazquez, 1994; Gil, 1986; Linder, 1993). Pozo (1997) habla modelos mentales que estudiante construye como resultado de su experiencia; DiSessa (1983) habla de ideas fragmentarias, no sistemáticas, basadas en la intuición y la experiencia directa.

A pesar de estas diferencias, hay consenso en reconocer que estos conocimientos anteriores filtran, escogen y elaboran la información recibida del entorno, de tal manera que pueden ser completados, limitados o transformados, dando lugar a nuevos conceptos. Esta actividad mental de construcción es el resultado de modelos psicológica y socialmente determinados e interdependientes. Así, como vimos en el apartado anterior, el contenido de enseñanza constituye la fuente donde el individuo

construye conocimientos, pero éste puede ser cercado, recortado, decodificado y explotado dependiendo del marco de referencia que se adopta, de las operaciones del que aprende, del conocimiento previo y de las interacciones con otros sujetos (Giordan, 1982, 1987; Gómez y Coll, 1994).

Características del conocimiento previo.

Según Pozo (1997) existen dos posturas acerca de los conocimientos previos de los estudiantes basadas en el tipo de organización que les atribuyen. Para algunos autores, sostiene, se trata de concepciones o ideas alternativas que presentan poca conexión entre sí por lo que pueden ser estudiadas y modificadas con cierta independencia unas de otras. Otros autores suponen que las ideas de los alumnos están organizadas en forma consistente dentro de teorías implícitas o personales con características claramente diferenciadas de las teorías científicas.

El primer enfoque, continua Pozo (1997) ha dominado la investigación en el campo de la didáctica, ya que se ha enfocado a promover cambios en conceptos o nociones individuales sin que haya una preocupación importante por su relación con otras representaciones. El segundo enfoque, en cambio, ha prevalecido en la investigación psicológica, que ha destacado las diferencias entre las teorías personales y las teorías científicas, de tal manera que el cambio conceptual se concibe no sólo como un cambio de conceptos componentes sino de una transformación en la forma de conceptualizar y de concebir las teorías de las que forman parte. Las teorías personales, vistas como sistemas representacionales, difieren de las científicas por no estar constituidas por conocimientos explícitos surgidos de la reflexión y por no poder ser fácilmente comunicables en forma verbal. Estas teorías serían implícitas en el sentido de que

están constituidas por reglas vagas y difusas que subyacen a la acción por lo que estarían más ligadas al conocimiento procedimental que al conceptual.

Otros autores como DiSessa (1983) plantean que los conocimientos previos de los alumnos sobre la ciencia están conformados por "piezas de conocimiento" que están bastante dispersas y poco coherentes entre sí. El cambio conceptual, para este autor sería el cambio en la función de estas ideas intuitivas que dejarían de ser autoexplicativas para transformarse en descripciones en el marco de las teorías científicas. Para DiSessa, las ideas de los alumnos no constituyen teorías debido a que no presentan una coherencia conceptual suficiente; son únicamente trozos de conocimiento producto de la percepción directa del mundo, que se activan en función del contexto. Pero, el hecho de que los alumnos no respondan de manera consistente ante algunos problemas científicos, no significa sus ideas no le sean útiles.

De cualquier manera existe consenso entre autores constructivistas, al señalar que la consistencia implícita de las teorías personales será menor que la que exhiben las teorías científicas, debido a que las categorías que surgen de las teorías personales ("análisis de lo real") son muy locales, mientras que las teorías científicas están conformadas por una relación entre conceptos que forma un sistema altamente consistente. En este contexto, el cambio conceptual deberá estar dirigido a incrementar la coherencia de las teorías por medio de la explicación de los fenómenos a tratar, más que por una simple descripción o predicción. En este proceso debe desempeñar un papel muy importante la toma de conciencia o reflexión sobre el propio conocimiento, aspecto que constituye una de los mecanismos básicos del cambio conceptual (Arnay, 1997; Carey, 1991).

Otro aspecto importante que sostienen Carretero y Limón (1997) está relacionado con el hecho de que es frecuente que con frecuencia los autores constructivistas consideren al conocimiento previo como si fuera un simple impedimento para el conocimiento posterior, al estilo del *obstáculo epistemológico* de Bachelard (1987). Pero, es necesario distinguir entre un conocimiento que implica resistencia al cambio conceptual del que simplemente es un conocimiento incompleto que puede mejorarse con el que se recibe posteriormente. El primer caso, implica una dinámica complicada en términos de la instrucción, mientras que en el segundo, el conocimiento previo no dificulta la adquisición del nuevo sino que solamente se ve completado, constituyendo algo así como equipaje pesado pero útil. De esta manera, es posible que en el viaje de los seres humanos en el camino del conocimiento, exista una cierta lucha entre los viejos y los nuevos conocimientos; y en esa lucha tal vez nos tengamos que desprender de alguna parte de nuestro equipaje, o quizás, por el contrario, el contenido de nuestra equipaje nos sea útil. Por ello, es importante reconocer la necesidad de utilizar el conocimiento previo, aunque sea equivocado, como puente para introducir nuevo conocimiento.¹

Modelos de cambio conceptual.

Aunque existe acuerdo en considerar que la toma de conciencia -o metaconocimiento conceptual- es uno de los mecanismos esenciales para que se produzca el cambio conceptual, existen concepciones diversas sobre su naturaleza, mecanismos y las condiciones en las que se produce.

¹ En el caso del evolucionismo, un ejemplo del primer tipo serían las ideas de los estudiantes respecto al origen no azaroso de la variación, la adaptación instantánea o el pensamiento tipológico, que sí representan obstáculos epistemológicos difíciles de modificar (como lo muestra el trabajo de campo de esta tesis e innumerables estudios reportados). Mientras que sus ideas acerca de la herencia de los caracteres adquiridos, por ejemplo, son modificadas más fácilmente.

Posner et al (1982), por ejemplo, retomando los modelos de Kuhn (1982) y Lakatos (1975) sostienen que existen patrones análogos de cambio conceptual en la ciencia y su aprendizaje: para entender nuevos fenómenos, algunos estudiantes utilizan conceptos existentes en su estructura conceptual y a esta variante de la primera fase de cambio conceptual, le denominan *asimilación*, que sería el equivalente de la ciencia normal. Sin embargo, es frecuente que los conceptos comunes de los estudiantes sean inadecuados para permitirles comprender satisfactoriamente los nuevos fenómenos que se les presentan. Entonces los estudiantes deben reemplazar o reorganizar sus concepciones centrales. Esta forma más radical de cambio conceptual, le denominan *acomodación*, que en el contexto de la ciencia sería una revolución científica. A esta transformación radical, otros autores le han llamado reestructuración o cambio conceptual fuerte.

Duschl y Gitomer (1991) han enfocado sus críticas a estas primeras formulaciones de la teoría del cambio conceptual desde un punto de vista epistemológico. Estos autores consideran que Kuhn y Lakatos fallan en algunos aspectos al exponer su postura sobre la naturaleza del cambio científico. La principal limitación de estos modelos es que ofrecen una visión jerárquica del cambio conceptual. Según Kuhn y Lakatos señalan, el cambio en las proposiciones centrales de una teoría científica, trae como consecuencia el cambio simultáneo de los compromisos ontológicos y metodológicos. Sin embargo, las evidencias históricas muestran que en el desarrollo de la ciencia ha habido consensos y diferencias entre los científicos; además de que los cambios no involucran transformaciones globales, sino más bien se observa la introducción de cambios pequeños en los marcos conceptuales generales (cabe señalar que Kuhn no niega la existencia de dichos cambios pequeños; sostiene que en el desarrollo de la ciencia se presentan periodos de transformaciones conceptuales más amplios -las revoluciones científicas- donde dichos cambios puntuales toman un nuevo sentido ante las nuevas explicaciones que la revolución científica genera). Estos hechos, sostienen Duschl y

Gitomer, son explicados de manera más adecuada por el modelo de Laudan. Las ventajas del modelo de Laudan, consideran, es que se abandona la visión jerárquica del cambio conceptual, al sugerir la posibilidad de que los científicos estén en desacuerdo con algunos compromisos teóricos de la tradición, pero mantienen posturas metodológicas y axiológicas del marco teórico previo. Este modelo, sostienen, se adapta de mejor manera al comportamiento de los aprendices, ya que se ha documentado que los estudiantes mantienen concepciones alternativas sobre un tema, al mismo tiempo que aceptan las explicaciones científicas que se le ofrecen en la escuela, aspecto que también comparte Linder (1993).

Pozo (1997) retomando a Thagard (1992) plantea que la historia de la ciencia muestra que los cambios pequeños en la estructura y significado de los conocimientos se refieren a la revisión de creencias (añadir o quitar ejemplos a una categoría); añadir o quitar una característica o un rasgo secundario en la definición de un objeto; algo más complejo implicaría modificar la estructura conceptual del dominio a través de la descomposición de un fenómeno hasta ahora considerado unitario en otros más elementales; la diferenciación de casos antes considerados como similares; la generación de nuevos conceptos a partir de la integración de fenómenos considerados dispares. Estos cambios alteran el significado de algunos conceptos, pero no cambian la organización del "árbol de conocimiento de la disciplina". Pero, algunos de estos cambios en su conjunto pueden producir una revisión más profunda de dicha estructura al hacer que un concepto central pase a otra categoría (a otra rama del árbol de conocimiento). Finalmente, la suma e integración de estos cambios se traduciría en una reestructuración de la jerarquía o el árbol de conocimiento en un dominio.

A partir de este modelo puede verse que los cambios conceptuales en su sentido radical son poco frecuentes, ya que permanentemente se están produciendo modificaciones menores en la estructura conceptual de las disciplinas, y sólo de manera ocasional estos cambios producen "revoluciones conceptuales". Según Pozo (1997), así sucede en la historia de la ciencia, y debería suceder también en la construcción de conocimiento escolar por los alumnos en el aula. Sin embargo, la mayoría de los modelos de cambio conceptual en la educación, enfatizan en esta última etapa, descuidando el profundo significado de los aprendizajes menores en el cambio conceptual. Por ello, sería necesario replantear la meta final de la enseñanza de la ciencia, jerarquizando adecuadamente los contenidos conceptuales de las materias, de tal manera, que sea posible recorrer "el árbol de conocimiento" de la disciplina hasta alcanzar, cuando tengan sentido los conocimientos previos aprendidos, la reestructuración del mismo (Pozo, 1997).

A pesar de los desacuerdos planteados, la mayor parte de los modelos de cambio conceptual coinciden en afirmar que es importante diferenciar diversos procesos o mecanismos de aprendizaje de los conocimientos científicos, que constituyen fases o momentos previos al proceso de reestructuración o cambio conceptual fuerte. Este constituye el último escalón de un proceso de aprendizaje que requiere de muchos cambios cualitativos y cuantitativos menores que hacen posible "la revolución" conceptual o reestructuración de conocimientos que implica el cambio conceptual. Entre los procesos de aprendizaje previo se encontrarían el incremento o enriquecimiento de conocimiento basados en un aprendizaje fundamentalmente asociativo, la diferenciación o integración conceptual que implican el ajuste en el significado de los conceptos componentes de la teoría, y finalmente, la reestructuración o el cambio conceptual radical.

Activación contextual de las distintas concepciones.

Otro aspecto que ha sido discutido en la mayor parte de los modelos de cambio conceptual es el supuesto de que el cambio conceptual implica el abandono o rechazo de los conceptos, teorías o los modelos intuitivos de los alumnos (Spada, 1994 en Pozo, 1997). Con este supuesto, los alumnos al asimilar la teoría de la selección natural, por ejemplo, abandonarían sus interpretaciones teleológicas o lamarckianas. Sin embargo, la información empírica muestra que la enseñanza de la ciencia no siempre hace abandonar las teorías personales con que llegan los estudiantes al aula. Esta persistencia de estas concepciones previas tradicionalmente había sido explicada como un fracaso en la enseñanza. Sin embargo, en la actualidad se plantea la posibilidad de que los mecanismos de cambio conceptual sean más complejos y pudieran dar lugar a una coexistencia de sistemas alternativos de conocimiento dentro del mismo sujeto (Linder, 1993). Con esta idea, la adquisición de una nueva teoría o modelo no implicaría el abandono de las teorías personales, ya que se utilizarían en situaciones muy distintas. En este sentido, Pozo (1997) y García (1997) señalan que dichas teorías o concepciones previas suelen ser muy adaptativas en contextos cotidianos; debido a que se originan en ese tipo de situaciones, resultan ser muy predictivas y requieren muy poco esfuerzo cognitivo, por lo que su abandono es poco probable y tal vez inconveniente.

Dicha activación contextual de las teorías alternativas, sostiene Pozo (1997) no es incompatible con la necesidad de cambio conceptual, ya que la nueva teoría enseñada en la escuela, sólo será comprendida como tal en la medida de que se diferencie conceptualmente de las concepciones previas de los alumnos (por ejemplo, que se pase de una visión intuitiva a una científica). Para ello, es necesario promover la construcción de nuevas estructuras conceptuales en ese dominio que estén basadas en

principios explicativos distintos. Si no sucede así, las nuevas concepciones serán incorporadas al "viejo árbol de conocimiento" creando confusión entre ambas teorías, que en vez de coexistir en contextos distintos, formarían un sistema conceptual híbrido o poco diferenciado.

De hecho, es muy común que los alumnos asimilen de manera equivocada los nuevos conceptos a sistemas de conocimiento incompatibles con ellos, lo que hace que tengan un significado distinto de la teoría de la que forman parte (por ejemplo, es común que los estudiantes introduzcan en sus explicaciones evolutivas ideas sobre la selección natural pero siguen pensando que el cambio evolutivo es resultado de la necesidad).

¿Cuándo es necesario el cambio conceptual radical?

Diversos enfoques teóricos señalan que este cambio conceptual radical será necesario solamente cuando entre los conceptos previos de los alumnos y la teoría científica a aprender existan supuestos incompatibles (o inconmensurables en términos de Kuhn) en el núcleo central de ambas teorías, que hagan imposible reconciliarlas o asimilar una nueva.²

En esta situación, la comprensión de la ciencia requerirá un cambio conceptual profundo que implica el uso de nuevas categorías ontológicas para interpretar los fenómenos que no son comunes en el conocimiento cotidiano. Este cambio conceptual

² Kuhn (1989) plantea que dos teorías son inconmensurables cuando se articulan en lenguajes que no son totalmente traducibles entre sí, debido a que el cambio de significado que sufren ciertos términos al pasar de una teoría a la otra, impide que todos sus enunciados sean mutuamente traducibles; por ello, se encontrarán enunciados de una teoría que no puedan expresarse en el léxico de la otra. Esto no quiere decir, según el autor, que ambas teorías sean incomparables, ni en su forma metafórica ni en la literal, ya que contienen un gran número de términos comunes que funcionan de igual manera en ambas teorías; sus significados se preservan. Sólo existen problemas de traducción en un pequeño subgrupo de términos (que generalmente se interdefinen) y en los enunciados que los sostienen.

radical es muy distinto a la sustitución de un concepto erróneo por un concepto científico (válido). Es más bien un cambio en la forma de conceptualizar o de utilizar los esquemas para interpretar los problemas. De esta manera, este tipo de cambio conceptual estaría ligado al cambio de los enfoques para analizar los fenómenos y no sólo del cambio o sustitución de los conceptos que componen las teorías. Según este argumento, los cambios conceptuales radicales se requerirían cuando las estructuras conceptuales disponibles sean incompatibles con las nuevas teorías; en este proceso los alumnos deben aprender a utilizar esquemas generales de análisis de las relaciones causales sin los cuales las teorías científicas no serían comprendidas de manera correcta.

Otro punto importante tocado por Pozo (1997) es que la determinación de los aspectos en que las teorías científicas son incompatibles con las concepciones previas de los alumnos podrían ayudar a determinar obstáculos epistemológicos (según terminología de Bachelard) para la comprensión de diversas disciplinas.

Así, una vez encontradas las dificultades conceptuales de los estudiantes en torno a una temática, como las que se analizan en este trabajo, se podrían definir diferentes recorridos didácticos para superar cada una de estas dificultades.

Volviendo al tema del cambio conceptual radical, Pozo (1997) señala que los cambios conceptuales que requieren una reestructuración profunda deberían ser aquellos ligados a representaciones centrales - centro firme - que diferencian las teorías implícitas de los alumnos de los modelos científicos que nos interesa que aprendan (como es el caso planteado en este trabajo). De esta manera, el cambio conceptual radical sería sólo el objetivo final de la enseñanza de la ciencia; el cual sólo puede ser posible si se diseña un acercamiento gradual al mismo apoyado en aprendizajes

conceptuales menores. Pero, incluso es posible que en lugar de ser reemplazadas por los modelos científicos una vez llevado a cabo el cambio conceptual, las teorías implícitas coexistan e incluso compitan con ellas por su activación en distintos contextos.

De este modo, en este proceso se introduce una tercera dimensión que es la del contexto escolar. La ciencia escolar difiere tanto del trabajo científico como de las situaciones cotidianas. Por ello suponer que un tipo de conocimiento, el escolar por ejemplo, puede trasladarse sin más a otra situación (como la cotidiana) es tan inadecuado como pensar que el conocimiento científico debe trasladarse al aula, de tal manera que los alumnos puedan actuar como verdaderos científicos y no como aprendices de ciencia.

En este sentido Rodrigo (1997) señala que el conocimiento escolar comparte algunos rasgos con el científico y también comparte algunos aspectos con el cotidiano. De este modo, el cambio conceptual puede considerarse como el acercamiento del conocimiento personal con el científico a través de las intenciones pedagógicas y el contexto de instrucción. Pero, este acercamiento no debe implicar una pérdida de identidad de ambos tipos de situaciones ni tampoco una separación de las mismas, sino más bien, una diferenciación entre ambos contextos y sus metas.

En suma, los planteamientos señalados en los párrafos anteriores permiten plantear que un aspecto central para comprender y promover el cambio conceptual en los aprendices de ciencia es contar con parámetros claros que nos permitan diferenciar las características del cambio conceptual en los contextos científico y escolar; ya que esto nos puede ayudar a determinar enfoques didácticos que permitan a los estudiantes una mejor aproximación a las complejas actividades de la ciencia. Es decir,

es fundamental que en la escuela se comprenda la naturaleza de la ciencia, los enfoques metodológicos, los criterios de validación del conocimiento que guían la construcción del conocimiento científico, que permitan a los alumnos conceptualizar de una manera diferente los fenómenos o procesos que tradicionalmente han explicado mediante sus teorías implícitas o el conocimiento previo que manejan. Esto no quiere decir que los alumnos deban hacer ciencia en el salón de clase (una comprensión adecuada de la ciencia nos muestra que esto no es posible), sino que entiendan como funciona la ciencia, es decir, que comprendan cómo la ciencia se plantea problemas y como llega a resolverlos.

En este contexto la epistemología y la historia de la ciencia juegan un papel crucial en este proceso, ya que ofrece herramientas y enfoques para comprender la naturaleza del conocimiento científico, el cambio de teorías o programas de investigación y los criterios de validación de dicho conocimiento. Esto puede permitir diferenciar las actividades que pueden llevarse a cabo en la escuela. En este sentido, un aspecto importante a considerar es que los estudiantes son aprendices, no científicos, por tanto lo que la escuela debe ofrecer son las herramientas que permitan comprender la naturaleza de la ciencia, los conceptos, las teorías, los paradigmas y los enfoques metodológicos que guían en desarrollo de una disciplina y el manejo de técnicas y metodologías que en un futuro permitan a los estudiantes abordar y resolver problemas de investigación.

CAPITULO IV.

LA COMPRESION DEL EVOLUCIONISMO EN LA ESCUELA.

1. INTRODUCCION.

El evolucionismo, como se ha señalado, constituye el programa de investigación más integrador de la biología moderna, y su adecuada comprensión es fundamental para los estudiantes, en virtud de que ofrece las herramientas conceptuales que posibilitan tener una visión sintética e integral de los fenómenos biológicos. Sin embargo, en diversos niveles educativos existe una compleja problemática en torno a la asimilación de estos temas. Esta situación ha sido explicada mediante diversas razones; entre ellas se señala, la capacidad cognitiva de los estudiantes, las deficiencias en el enfoque didáctico, la gran complejidad de la teoría, que dificulta su adecuada transmisión por parte de los profesores, entre muchos otros aspectos.

Estas dificultades han traído como consecuencia el interés en comprender cómo conciben los estudiantes de ciencia los mecanismos de la evolución, ya que aunque estudiantes y profesores manifiesten tener conocimientos básicos de la teoría de la selección natural, al analizar sus ideas se encuentran concepciones que difieren de las aceptadas por Darwin y por los biólogos en la actualidad; situación que se presenta aún en estudiantes universitarios.

Con base en estas consideraciones, en este capítulo se abordan los principales problemas que se encuentran en la comprensión de los conceptos fundamentales de la teoría de la selección natural, particularmente en el nivel superior. Por un lado, se presenta un análisis de los principales problemas que han sido reportados en la

literatura sobre el tema; así como los resultados del trabajo de campo realizado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Como vimos en el capítulo anterior, un elemento fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje es determinar lo que el alumno ya conoce; por ello, el análisis de los problemas que existen en la comprensión del evolucionismo, permitirá detectar las principales dificultades que existen en la asimilación de estos temas, lo que servirá de punto de partida para definir enfoques didácticos que permitan la superación de dichos obstáculos epistemológicos en la escuela.

2. CONCEPCIONES EVOLUTIVAS DE LOS ESTUDIANTES: ALGUNOS ESTUDIOS REPORTADOS.

Diversos estudios señalan que las ideas acerca de la evolución por selección natural son frecuentemente mal interpretadas por un gran número de estudiantes de distintos niveles escolares y es común que muchas de estas concepciones persistan aún después de la instrucción.

Como señalamos anteriormente, las explicaciones evolutivas de los estudiantes representan una compleja mezcla de ideas relacionadas con la evolución lamarckiana, teoría darwiniana y razonamiento teleológico, que son altamente resistentes al cambio (Settlage, 1996; Angseeing, 1978).

Brumby (1979), por ejemplo, reporta que sólo el 18% de un grupo de estudiantes universitarios de primer ingreso con un avanzado nivel de conocimiento biológico, pudieron aplicar consistentemente el concepto de selección natural a problemas ambientales comunes. Cerca del 60 % fallaron al identificar conceptos como selección natural o evolución, en su lugar introdujeron otros tipos de conceptos. En sus

explicaciones, más de la mitad de los estudiantes formulan equivocadamente una "teoría de la adaptación por mutación inducida" en lugar de una "teoría de la evolución por selección natural. Algunos estudiantes tiene un pobre entendimiento de los conceptos de adaptación, inmunidad, el origen de las mutaciones y las leyes de la herencia.

Brumby (1984) en un trabajo realizado con 100 estudiantes australianos de medicina, muestra que uno de cada tres explica correctamente el efecto de la selección natural ante un problema planteado. Estos resultados muestran que la mayoría de los estudiantes dejan la escuela creyendo que el cambio evolutivo ocurre como resultado de la necesidad, coincidiendo con el punto de vista lamarckiano. Parece ser que los estudiantes extrapolan los cambios que ven en el tiempo de vida de un organismo (proceso conocido como aclimatación) para dar cuenta de los cambios producidos en poblaciones seleccionadas en varias generaciones. Aunque la instrucción formal en el tema se basa en la explicación darwiniana de la evolución, no se encuentra alteración significativa en la frecuencia de explicaciones de los estudiantes sobre el proceso de adaptación. Esta situación se presenta también en estudiantes británicos.

Así mismo, sostiene que la preexistencia de creencias lamarckianas actúan como barreras en el aprendizaje formal de la teoría evolutiva y que estas explicaciones se encuentran también en campos como la mecánica, donde se han reportado concepciones "aristotelicas intuitivas", similares al "lamarckismo intuitivo" que se encuentra en las explicaciones evolutivas. Estas, plantea, no son errores simples de conocimiento que fácilmente puedan corregirse. El patrón completo de razonamiento es inadecuado, debido a que parte de observaciones iniciales incorrectas: que los individuos pueden cambiar sus características durante su tiempo de vida y que dichas características son transmitidas genéticamente, al estilo de la herencia de los caracteres adquiridos que sostenía Lamarck. La genética es introducida pero, la

diferencia fundamental entre mutaciones inducidas y espontáneas no es tomada en cuenta. La adaptación, en este caso, es confundida con inmunidad, y los conceptos inmunológicos como la resistencia, tolerancia y antibióticos son introducidos incorrectamente.

Brumby (1984) sugiere que las ideas lamarckianas y aristotélicas tuvieron una aceptación científica en épocas pasadas y que tal vez el razonamiento científico intuitivo refleja un tipo de "teoría que recapitula" la historia del pensamiento científico, lo cual puede ser usado para predecir las principales preconcepciones de los estudiantes.

En este sentido, es importante señalar que el punto de vista que se sostiene en este trabajo es que no puede plantearse que exista una correspondencia entre la historia de las ideas y el desarrollo conceptual de los individuos, al estilo de la "ontogenia recapitula a la filogenia", no hay una historia predeterminada de las ideas, como no hay una historia predeterminada de especies biológicas. Más bien, es posible suponer que tanto el conocimiento cotidiano que manejan los estudiantes, como las explicaciones que han planteado los naturalistas de épocas pasadas, como Lamarck, estaban basadas en patrones similares de razonamiento (como es el caso de la herencia de los caracteres adquiridos, el efecto del uso y desuso de los órganos, etc.). Sin embargo, la ciencia en su desarrollo, a partir de estas mismas capacidades cognitivas humanas, ha constituido una nueva forma de racionalidad que va más allá del razonamiento intuitivo y que es propia de ella. Para ello, ha establecido intenciones, compromisos, formas de abordar los fenómenos, criterios de validación y confirmación del conocimiento, que son distintos de los de los estudiantes y de los científicos o naturalistas de otras épocas. En la escuela, los estudiantes no van a abordar los fenómenos de la misma manera que los científicos, por lo que no puede esperarse que lleguen a las mismas

concepciones científicas como si existiera "una ruta predeterminada de ideas".

En otro sentido, se ha visto en el capítulo anterior, que para lograr el cambio conceptual es necesario que estos patrones de razonamiento intuitivo sean explicitados, identificados y discutidos con los estudiantes, pero, esto no siempre sucede en clase, donde incluso se llegan a fomentar interpretaciones erróneas sobre el proceso evolutivo en general y la teoría de la selección natural en particular.

Se ha señalado que algunas de las frases que utilizan los profesores de enseñanza media contribuyen a desarrollar en los estudiantes una confusa explicación lamarckiana del proceso evolutivo. (por ejemplo que el cambio es por necesidad). Roberts (1979), por ejemplo, sostiene que la frase "sobrevivencia del más apto" ha sido interpretada de diversas maneras dependiendo del contexto, ya sea popular, académico o científico. Los profesores deben usar esta frase en sus explicaciones sobre el tema; pero, es interpretada de diversas maneras por lo que causa confusión entre los estudiantes en un tema que no es nada fácil de comprender. Sostiene, que en el contexto científico también hay un sin fin de interpretaciones sobre esta frase, y que los profesores deben estar claros del que cada interpretación está dada en función del marco teórico general de la teoría que la sustenta (por ejemplo, la darwiniana, neodarwiniana, etc.). En este sentido, plantea el autor, es importante presentar un orden cronológico en los temas, ya que la enseñanza de los mecanismos evolutivos, es una área especialmente susceptible a ser abordada a partir del análisis histórico de las ideas, punto que coincide con la tesis de este trabajo.

Bishop y Anderson (1990) señalan que en los cursos de biología se presenta de manera simplificada las explicaciones que ofrece la síntesis neodarwinista, esto hace que los alumnos no tengan una comprensión adecuada de los mecanismos evolutivos. La

literatura sobre el cambio conceptual sostiene que los alumnos que entran a los cursos han desarrollado explicaciones sobre los fenómenos naturales; así, la mayoría de los estudiantes ingresan a los cursos creyendo que tienen una comprensión básica del proceso de evolución por selección natural. Desafortunadamente, sus ideas acerca de cómo y por qué la evolución ocurre es muy diferente de las aceptadas por los biólogos y la instrucción previa en biología, tiene poco efecto en las concepciones de los estudiantes debido a que los conceptos de evolución por selección natural son más difíciles de comprender para los estudiantes que lo que la mayoría de los biólogos imagina. El cambio conceptual, como vimos, puede llevarse a cabo si los profesores conocen a fondo la disciplina y están preparados para confrontar las ideas de los estudiantes; pero, esto no es siempre fácil de llevarse a la práctica.

3. CONCEPCIONES EVOLUTIVAS DE LOS ESTUDIANTES DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNAM.

En el punto anterior se mostraron los resultados que han sido reportados por algunos investigadores en torno a la comprensión de los conceptos evolutivos. Con la intención de conocer con más detalle la problemática en la asimilación de estos temas por parte de los futuros biólogos, se realizó un estudio de campo, tomando como referente al plan de estudios de la licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, puesto en marcha en 1996.

Este plan de estudios tiene como objetivo formar profesionistas capaces de plantear, entender y solucionar problemas biológicos de diversa índole. Su enfoque curricular pretende integrar el conocimiento biológico moderno bajo el marco conceptual rector de la teoría de la evolución, y busca el empleo de metodologías de enseñanza más orientadas hacia la ciencia y su quehacer. Así, concibe la formación del biólogo de una manera integral, partiendo del hecho de que todo profesionista de esta disciplina, independientemente del área en la que se desarrolle, debe tener un conjunto de conocimientos fundamentales sobre la teoría celular, el origen, la evolución y las funciones de las macromoléculas vitales, de los procesos biológicos, de la biodiversidad, del desarrollo de los seres vivos, de la biología de sistemas, de las relaciones de los organismos con el medio en el que se desenvuelven y de los procesos evolutivos.¹

Ante la importancia que se le da al estudio del evolucionismo, se eligió este programa académico para realizar la parte empírica de nuestro trabajo. Otra consideración

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. *Nuevo plan de estudios de la licenciatura en Biología*. Aprobado por el Consejo académico del área de ciencias biológicas y de la salud el 25 de marzo de 1996.

importante es que la Facultad de Ciencias de la UNAM es el principal centro de formación de biólogos en el país, por lo que dicho plan de estudios constituye un modelo a seguir en diversas universidades nacionales.

La estrategia metodológica que se desarrolló para llevar a cabo este trabajo de campo se presenta en el siguiente inciso.

3.1. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

3.1.1. Instrumento de Análisis.

El trabajo empírico estuvo basado en la aplicación de un cuestionario elaborado por Sánchez (2000)². Como señala su autora, este instrumento recopila la experiencia de diversos investigadores y toma como punto de partida las principales concepciones alternativas que se reportan en la literatura (Ver Anexo 1). Los criterios considerados para su elaboración se basan en las siguientes consideraciones.

Como vimos en el capítulo II, el *núcleo duro* del evolucionismo considera que el proceso evolutivo involucra dos aspectos fundamentales: el origen azaroso de la variación, y el mantenimiento o eliminación de ésta mediante el mecanismo de la selección natural. Así, se plantea que cuando aparece de manera casual una variación dentro de una población, puede ser que la nueva característica sea ventajosa para los organismos que la portan o puede ser que no lo sea (lo cual está en función de las condiciones ambientales particulares). El hecho de que sea ventajosa significa que

² Cabe señalar que dicho instrumento se ha utilizado para analizar esta temática en diferentes niveles educativos (secundaria, bachillerato y licenciatura), dado que se pretende realizar un análisis integral de esta problemática en estudiantes mexicanos. También se está empleando en el estudio de las concepciones evolutivas de profesores de enseñanza media.

permite a los organismos tener una mayor capacidad de sobrevivencia y de reproducción. La selección natural, entonces, de acuerdo con las características de los individuos, posibilita que algunos sobrevivan y otros no, que algunos se reproduzcan más que otros, o que algunos tengan más descendencia que otros. Esto quiere decir que existe una adaptación diferencial dentro de la población, que provoca el aumento en la proporción de ciertos organismos que cuentan con alguna característica que les confiere ventajas en la sobrevivencia o la reproducción, proceso que al paso del tiempo ira cambiando las características generales de la población y por tanto, de la especie.

En el punto anterior se señaló que los estudiantes tienen problemas para entender este *núcleo duro*, ya que es común que piensen que la variación se origina debido a la necesidad o al uso o desuso de ciertos órganos, por tanto, es de inmediato adaptativa. Además, es común que los estudiantes vean a las poblaciones como un todo, obviando la existencia de variaciones individuales dentro de un grupo de individuos; tampoco consideran que el cambio en la proporción de características ventajosas es lo que da como resultado la transformación gradual de las especies en largos períodos de tiempo.

De este modo, en muchos casos está ausente la idea de adaptación diferencial, lo que supone también la carencia de un pensamiento poblacional; aspectos fundamentales para entender el mecanismo evolutivo más importante: la selección natural.

Con base en estas consideraciones, el cuestionario explora la presencia de los principales conceptos problemáticos que han sido reportados por diversos autores, que son cruciales para la comprensión del evolucionismo debido a que constituyen el núcleo central de este programa de investigación. Así, fue diseñado de tal modo que

reflejará las principales concepciones alternativas de los estudiantes en torno a las siguientes categorías conceptuales:

- A. *el origen de la variación;*
- B. *el papel de la variación en el proceso evolutivo, en el sentido de que confiere una adaptación diferencial a los organismos;*
- C. *la evolución vista como cambio en la proporción de individuos con nuevos caracteres, es decir, la evolución vista como cambios poblacionales.*

Respecto a cada una de estas categorías, se busco información sobre la existencia de las siguientes concepciones alternativas:

- A. *Origen de la variación;*
 - a. Los cambios en los organismos ocurren como una necesidad interna.
 - b. Los cambios ocurren porque el ambiente lo pide.
 - c. Los cambios ocurren por el uso o desuso de ciertos órganos y funciones.
 - d. No se considera que el cambio es debido al azar.
 - e. No se considera la variación.
 - f. No se relacionan las mutaciones con cambios en el DNA.
 - g. Los cambios son promovidos por un creador o por *la naturaleza*.
 - h. No se considera el tiempo en el que ocurre el cambio.
 - i. Los cambios son para mejorar.
- B. *el papel de la variación en el proceso evolutivo;*
 - a. La variación es de inmediato adaptativa porque se da como respuesta al ambiente, es decir, se considera que la adaptación es perfecta.

- b. No se detecta el éxito reproductivo, ni que algunos individuos logran sobrevivir y otros no, es decir, no se considera que existe una adaptación diferencial.

C. la evolución vista como cambio en la proporción de individuos con nuevos caracteres, es decir, la evolución vista como cambios poblacionales.

- a. El cambio gradual se da en toda la población en varias generaciones.
- b. La evolución moldea a toda la especie.

Con base en lo anterior, el cuestionario se estructuró en tres partes, las cuales son descritas en el siguiente inciso.

3.1.1.1. Estructura, criterios de análisis y evaluación del cuestionario.

Parte A.

Tiene como objetivo conocer si los estudiantes tienen una concepción científica del proceso evolutivo, de no ser así permitirá clasificar las concepciones alternativas de acuerdo con Bishop y Anderson (1990). Para ello, se plantean seis preguntas tipo Likert, que son preguntas de tipo cierto o falso.

Para clasificar las respuestas erróneas en alguna concepción alternativa ya tipificada, se hace que el alumno escoja entre una opción errónea de otra acertada. El alumno, como se muestra a continuación, deberá contestar de acuerdo con lo siguiente: 1) sólo la frase de la izquierda es correcta; 2) no sabe o no recuerda; 3) sólo la frase de la derecha es correcta.

A. Instrucciones:

De los tres números que se encuentran entre la frase de la derecha y la de la izquierda, tacha el que creas que sea la mejor opción para completar la idea, de acuerdo con los siguientes criterios:

Tacha el 1 si sólo la frase de la izquierda es correcta.

Tacha el 2 si no sabes o no te acuerdas.

Tacha el 3 si sólo la frase de la derecha es correcta.

1. Los conejos primitivos de Siberia tenían pelo oscuro; actualmente esos conejos son blancos. Aunque la característica hereditaria de pelo blanco...

apareció en los conejos primitivos porque al vivir en la nieve necesitaban pelo blanco para confundirse con el ambiente nevado.	1	2	3	apareció en los conejos primitivos como cambio casual.
---	---	---	---	--

2. Las poblaciones ancestrales de osos polares tenían pelo oscuro. Pero...

en las poblaciones ancestrales de osos polares surgieron osos de pelo blanco por cambios o mutaciones. Estos osos blancos sobrevivieron en lugar de los de pelo oscuro.	1	2	3	como resultado de vivir en la nieve, el pelo de los osos polares cambió lentamente de oscuro a blanco.
---	---	---	---	--

3. Si una población de conejos siberianos de pelo blanco fuera llevada a vivir en un lugar sin nieve...

los conejos desarrollarían poco a poco pelo oscuro para confundirse con el nuevo ambiente.	1	2	3	algunos conejos morirían porque sería fácilmente encontrados por sus depredadores.
--	---	---	---	--

4. Ciertas poblaciones de salamandras que viven en cuevas son ciegas porque...

FALTA DE ORIGEN
NO

se adaptaron al ambiente oscuro de las cuevas.

1 2 3

las salamandras con visión murieron sin dejar descendencia.

5. ¿Cómo podría explicarse que cierta especie de salamandra que vive en cuevas, sea ciega?

porque ciertas salamandras de la población, que tenía la característica de falta de de visión, se reprodujeron exitosamente, hasta que aumentó su proporción en la población.

1 2 3

como no utilizaban la las salamandras que vivían en cuevas, heredaron a sus hijos la característica de una "menor habilidad" para ver, hasta que evolucionaron a salamandras ciegas.

6. Los osos polares actuales tienen pelo blanco porque...

en cada nueva generación, la mayoría de los osos heredaba el color de pelo de sus padres.

1 2 3

en cada nueva generación los osos van teniendo el pelo cada vez más claro que sus padres.

TESIS CON
PUNTA DE ORIGEN

Los criterios para definir las respuestas válidas y no válidas se muestran en el siguiente cuadro.

Categoría	Preguntas	Valida	No válida
Origen de la variación. Azar vs Necesidad, uso y desuso, etc.	1 y 2	La variación se origina como resultado de la aparición azarosa de una característica, ya sea por mutación o recombinación genética.	Las variaciones surgen por necesidad, o como resultado de "seguir al ambiente" en un sentido lamarckiano.
Papel de la variación en el proceso evolutivo. Adaptación diferencial vs Adaptación inmediata	3 y 4	Las poblaciones evolucionan porque algunos de sus miembros poseen características genéticas que les confieren ventajas adaptativas.	Los miembros de una población como un todo desarrollan características que les permiten adaptarse de inmediato al ambiente.
La evolución vista como cambios poblacionales Pensamiento poblacional vs Pensamiento tipológico	5 y 6	Las nuevas características aparecen como cambios discretos en los individuos y se mantienen en la población aumentando la proporción de los individuos que las portan debido a que les confieren ventajas adaptativas.	La evolución de las especies es resultado del cambio gradual en todos los miembros de una población; otra característica es que surge de manera adaptativa.

TESIS CON
VALIA DE ORIGEN

Para analizar los resultados se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se asignó un puntaje a cada una de las opciones posibles. A la concepción válida se le asignaron 5 puntos: 2.5 puntos a aquellos que optaron por la opción 2 (no sabe o no se acuerda); y, 0 puntos a la respuesta no válida.
- Las respuestas no contestadas por los alumnos se tomaron como respuestas incorrectas.
- De acuerdo a las categorías antes señaladas se agruparon los resultados de las preguntas 1 y 2 (origen de la variación); 3 y 4 (adaptación diferencial); 5 y 6 (pensamiento poblacional).
- Se determinó como concepción válida aquellos que sumaran 10 ó 7.5 al considerar cada bloque de dos preguntas; como no definido aquellos cuya suma diera 5; y como respuesta no válida a aquellos que sumaran 2.5 o tuvieran 0 puntos.

De este modo, se determinó el número de preguntas acertadas, lo que significa que tienen una concepción científica con respecto al punto considerado, las no acertadas representan concepciones alternativas, y las que contestan que no saben o no recuerdan, significa que no asumen un pensamiento evolutivo.

Parte B.

Tiene como objetivo clasificar concepciones particulares de los estudiantes, de acuerdo con distintas explicaciones que se han dado sobre la evolución de las especies: darwiniana, lamarckiana, teleológica y ortogenética. Con esta intención esta parte del cuestionario planteó los siguientes reactivos:

B. Instrucciones
 Para las siguientes preguntas, tacha la letra que corresponda a la respuesta correcta.

1. Los chitas son animales capaces de correr a más de 100 km./hr. al perseguir a sus presas. ¿De qué manera explicarías cómo surgió esa habilidad para correr tan rápido, si se supone que los ancestros de los chitas corrían tan sólo a 30 km./hr.?

L) Las generaciones de chitas pudieron correr cada vez más rápido porque ejercitaban mucho sus patas.

T) Como sus presas eran muy veloces, los chitas corrieron cada vez más rápido.

O) Debido a que los chitas corrían cada vez más rápido, desarrollaron músculos mejores.

D) Algunos chitas pudieron correr más rápido y heredaron esta característica a sus hijos.

2. Un gran número de poblaciones de mosquitos son actualmente resistentes a insecticidas como el DDT. Sin embargo, cuando se empezó a usar el DDT, casi todos los mosquitos morían. Actualmente, muchas poblaciones de mosquitos resisten el DDT porque:

L) Los mosquitos fueron desarrollando poco a poco resistencia al DDT, heredándosela a sus hijos, los que a su vez fueron más resistentes al DDT que sus abuelos.

T) La naturaleza formó mosquitos resistentes al DDT.

O) Algunos mosquitos aprendieron a adaptarse al DDT.

D) Algunos mosquitos eran resistentes al DDT antes de que este se empezara a usar y heredaron a sus descendientes esta característica.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

La clasificación del pensamiento de los alumnos se determinó de acuerdo con las siguientes categorías:

Código	Categoría	Significado
L	Concepción Lamarckiana	El cambio en las especies es gradual tiende a una mayor complejidad
T	Concepción Teológica	Supone la existencia de procesos naturales dirigidos con un propósito y hacia un fin determinada
O	Concepción Ortogenética	La evolución de las especies filatéticas sigue un curso predeterminado por un mecanismo interno que tiende hacia la perfección de los individuos.
D	Concepción Darwiniana	La aparición de la variación es espontánea, la selección natural como mecanismo del proceso evolutivo.

Para analizar los resultados se sumaron los resultados encontrados en las diferentes categorías y se graficó.

Parte C.

Esta parte tiene como objetivo tipificar la transformación conceptual ocurrida en un semestre escolar. Para ello, como se muestra a continuación, se plantean 10 problemas, de tipo "doble acción - respuesta razón". Es decir, preguntas con dos opciones de respuesta, acompañadas por tres explicaciones posibles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C Instrucciones

Cada una de las siguientes preguntas contiene dos partes. En la primera tacha la opción que mejor completa la frase. Estas opciones están indicadas con los números 1 ó 2.

En la segunda parte tendrás que seleccionar la razón por la que elegiste la respuesta de la primera parte. Es decir, tacha una de las tres opciones marcadas con las letras A, B, C que explique mejor tu primera elección.

EJEMPLO

Todas las plantas verdes:

1. Necesitan bióxido de carbono.
2. Requieren de suelo.

PORQUE:

- A. Sin él no pueden respirar.
- B. De él se nutren.
- C. Es indispensable para la fotosíntesis.

Explicación:

Necesitan bióxido de carbono es la respuesta correcta para la primera parte porque las plantas pueden crecer sin suelo.

En la segunda parte la respuesta correcta es que es indispensable para la fotosíntesis. Por tanto, tendrías que tachar el 1 en la primera parte, y la letra C en la segunda.

1. Los tiburones actuales pueden nadar a velocidades de 30 nudos. Supón que sus ancestros nadaban a velocidades menores. La habilidad de nadar más rápido probablemente se debió a que:

1. Surgió en los tiburones en poco tiempo.
2. Hubo un aumento en el porcentaje de tiburones más velozes.

PORQUE:

- A. En un momento hubo un cambio heredable que fue seleccionado en algunos tiburones.
- B. Mientras los tiburones usaban más sus músculos, más velozes se volvieron y eran mejores cazadores.
- C. La necesidad de atrapar a sus presas, hizo que nadaran más rápido y las alcanzaran con mayor facilidad.

2. Ciertas aves de patas largas pueden alimentarse con mayor facilidad en zonas inundadas. Si se transportara a una gran población de aves de patas cortas a una isla remota llena de lagos y pantanos:

1. Algunas aves vivirían y otras morirían.
2. Las aves desarrollarían poco a poco patas largas.

PORQUE:

- A. Las patas de todas las aves cambiarían lentamente hasta que ayudaran mejor a la alimentación.
- B. Las pocas aves que tuvieran patas largas sobrevivirían para reproducirse.
- C. Las patas de cada ave cambiarían de la misma manera puesto que todas las aves están relacionadas entre sí.

3. Las focas que viven cerca del Polo tienen una capa de grasa bajo la piel. Sus ancestros pudieron haber tenido una capa de grasa menos gruesa que la actual. A través de los siglos, ocurrieron tales cambios en las focas, ya que:

- 1. La necesidad de conservar el calor hizo que su capa de grasa engrosara.
- 2. Cada generación más focas iban teniendo una capa de grasa gruesa.

PORQUE:

- A. Las focas querían adaptarse a su medio ambiente.
- B. Las crías heredaron de sus padres una capa más gruesa de grasa.
- C. Los pocos individuos que tenían una capa de grasa más gruesa, sobrevivieron y tuvieron crías.

4. Hace muchos años, la dispersión de plagas de langostas era controlada con el insecticida DDT. Recientemente los químicos han encontrado que las langostas ya no son atacadas por el DDT. La razón de este cambio es que:

- 1. Cada generación un mayor número de langostas no son afectadas por el DDT.
- 2. A través de los años, todas las langostas van siendo gradualmente menos afectadas por el DDT.

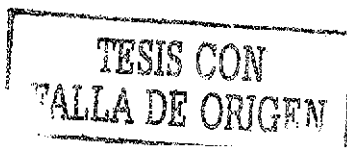
PORQUE:

- A. En cada generación, las langostas que sobrevivían al DDT, tenían descendencia.
- B. La necesidad de sobrevivir hizo que las langostas cambiaran.
- C. El uso del DDT provocó una mutación en el ADN de las langostas.

5. Una población de mariposas nocturnas estaba formada por individuos que tenían alas oscuras o claras. El bosque donde solían vivir tenía árboles con troncos ya sea oscuros o claros. Recientemente una plaga mató a los árboles de tronco claro, pero sobrevivieron los de tronco oscuro.

El efecto de la desaparición de árboles de tronco claro sobre las mariposas nocturnas será que cada generación:

- 1. Las mariposas nocturnas claras desarrollarán alas cada vez más oscuras.



2. Habrá una proporción mayor de mariposas nocturnas oscuras en la población.

PORQUE:

- A. Las polillas se adaptarían a los cambios en su ambiente.
- B. La necesidad de sobrevivir haría que las polillas cambiaran de color.
- C. Sólo las polillas con alas oscuras escaparían a sus depredadores y sobrevivirían hasta reproducirse.

6. Algunos sapos pueden dar saltos de hasta 2 m de longitud.

Supón que los sapos actuales tenían ancestros que no saltaban tan lejos. La habilidad para saltar tan lejos probablemente:

- 1. Se desarrolló para todos los sapos en unas cuantas generaciones.
- 2. Implicó un incremento en el porcentaje de sapos que podían saltar más lejos.

PORQUE:

- A. Mientras más usaban sus músculos, los sapos podían efectuar saltos cada vez más largos.
- B. Primero hubo un cambio genético en unos cuantos sapos y éstos se reprodujeron más.
- C. La necesidad de evitar ser atrapados por sus depredadores hizo que saltaran más lejos.

7. Las mariposas que tienen un largo trompa pueden alcanzar mejor el néctar que está en la parte profunda de las flores alargadas que las mariposas con trompa corta. Si una gran población de mariposas fuera transportada a un jardín lleno de plantas cuyas flores fueran largas:

- 1. Algunas mariposas morirían y otras vivirían.
- 2. Las mariposas desarrollarían cada vez trompas más largas.

PORQUE:

- A. Las mariposas que tengan trompas largas sobrevivirán hasta reproducirse.
- B. Las mariposas de trompa corta necesitan trompas largas para sobrevivir.
- C. Las trompas de las mariposas cambiarían lentamente hasta que tuvieran la longitud necesaria para alcanzar el néctar de las flores.

8. Una población de pinos vive en un área que ha tenido varios años de veranos muy calientes y secos. Si los veranos continuaran así en el futuro, se esperaría que:

- 1. Algunos pino sobrevivirán, pero otros morirán por la sequía.
- 2. Todos los pino se adaptarán al clima seco.

PORQUE:

- A. La necesidad de sobrevivir a los veranos causó que los pinos desarrollaran formas de evitar la sequía.
- B. Algunos pinos tienen la capacidad de conservar mejor el agua y sobrevivir a la sequía.

C. Los pinos lograrán soportar el clima cálido y seco y sobrevivir a la sequía.

9. Los murciélagos que se alimentan de noche tienen un agudo sentido del oído, pero sus ancestros pudieron no haber oído tan bien. Los murciélagos actuales tienen un mejor sentido del oído ya que:

1. La necesidad de alimentarse de noche determinó que aumentara su sentido del oído.
2. En cada generación más murciélagos oían mejor.

PORQUE:

- A. Para alimentarse mejor, los murciélagos necesitaban oír mejor los ruidos del medio ambiente que sus ancestros.
- B. Las crías heredaron mejor sentido del oído que sus padres y a su vez lo transmitieron a sus hijos.
- C. Los murciélagos que oían mejor se alimentaban mejor y tenían más crías.

10. En una población de lagartijas algunas tienen la piel verde, mientras que otras la tienen amarilla. En el lugar donde viven estas lagartijas, hay pastos con hojas verdes y con hojas amarillas. Hace poco una enfermedad atacó a los pastos amarillos y acabó con ellos. El efecto que tendrá la desaparición de pastos amarillos sobre las lagartijas, es que:

1. Las lagartijas amarillas perderán poco a poco su color.
2. Aumentará la proporción de lagartijas verdes.

PORQUE:

- A. Sólo las lagartijas verdes escaparán a sus depredadores y se reproducirán.
- B. Las lagartijas se irán adaptando a los cambios del ambiente.
- C. Para sobrevivir, las lagartijas cambian en color de su cuerpo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las respuestas válidas y no válidas se presenta en la siguiente tabla:

Pregunta	Válida	No válida
1	Hubo un aumento en el porcentaje de individuos más velozes porque surgió un cambio heredable en algunos miembros de la población (2A).	Surgió un cambio en toda la población debido al uso o la necesidad.
2	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características ventajosas (1B).	El cambio es gradual en todos los individuos y se da para resolver alguna necesidad.
3	Hubo un aumento en el porcentaje de individuos con cierta característica porque ésta confería ventajas adaptativas (2C).	Surgió un cambio en la población debido al uso o la necesidad o el deseo de los organismos.
4	Surgen variaciones dentro de la población que posibilitan la supervivencia y la reproducción (1A).	Surgió un cambio en toda la población debido al uso o la necesidad.
5	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características ventajosas (2C).	El cambio es gradual en todos los individuos y se da para resolver alguna necesidad.
6	Hubo un aumento en el porcentaje de individuos con cierta característica porque apareció un cambio heredable (2B).	Surgió un cambio en la población debido al uso o la necesidad.
7	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características ventajosas (1A).	El cambio es gradual en todos los individuos y se da para resolver alguna necesidad.
8	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características ventajosas (1B).	El cambio es gradual en todos los individuos y se da para resolver alguna necesidad.
9	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características que les confiere ventajas en la capacidad de reproducirse (2C).	El cambio es gradual en todos los individuos y se da para resolver alguna necesidad.
10	Existe una supervivencia diferencial debido a que algunos tienen características que les confiere ventajas en la supervivencia y la reproducción (2A).	Surgió un cambio en la población debido al uso o la necesidad o el deseo de los organismos.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Las categorías posibles en términos de los tipos de relaciones entre la respuesta inicial y su justificación, son las siguientes:

Código	Categoría	Criterio
CD	Concepción Darwiniana	Respuesta inicial correcta acompañada de razón correcta.
CA	Concepción Alternativa	Respuesta inicial correcta acompañada de razón incorrecta. Se considera que una concepción errónea muy arraigada permite al estudiante resolver correctamente la pregunta, pero utilizando razones equivocadas.
CI	Correcta incompleta	Respuesta inicial incorrecta, acompañada por una razón correcta. En esta caso podría tratarse de una concepción alternativa menor o de conocimiento incompleto.
FC	Falta de comprensión	Respuesta inicial errónea acompañada de explicaciones erróneas. Esto implica que el estudiante tiene una completa ignorancia del tema.

Para analizar los resultados de esta parte de la prueba se realizó lo siguiente:

- Se asignaron los siguientes puntajes a las diferentes opciones de respuesta:

Tipo de respuesta	Puntaje
Explicación no válida	0
Respuesta no válida	1
Respuesta válida	2
Explicación válida	3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El puntaje total que puede lograrse con base en las diferentes opciones de respuesta se presenta en la siguiente tabla:

Categoría	Respuesta inicial	Explicación	Puntaje Total
CD	Válida	Válida	5
CA	No válida	No válida	2
CI	No válida	Válida	4
FC	No válida	No válida	0

- Para ubicar los resultados en cada una de las categorías se obtuvo la moda (medida que más se repite dentro de una muestra).

La comparación entre los resultados de las pruebas aplicadas al inicio y al final del semestre, permitió detectar la transformación conceptual de los estudiantes ocurrido en este período de tiempo.

3.1.2. Población.

Como se señaló, el cuestionario se aplicó a estudiantes de la licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Con el objeto de conocer la transformación conceptual en diferentes momentos de la carrera se escogió una materia por cada semestre (en el anexo 2 se presenta la estructura curricular del plan de estudios), siendo elegidas las siguientes:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Filosofía e historia de la Biología	(1er. semestre)
Biología de Protistas y Algas	(2o. semestre)
Biología molecular de la célula I	(tercer semestre)
Biología de Animales I	(4o. semestre)
Ecología I	(5o. semestre)
Evolución	(6º. Semestre)

Algunas consideraciones tomadas para el caso son las siguientes:

- Solo se tomaron 6 semestres de la carrera, ya que el plan de estudios es de recién creación.
- La aplicación del cuestionario a los alumnos del curso de Evolución I, se realizó hasta el semestre 99-2, debido a que hasta entonces se impartió por primera vez la materia.
- El número de alumnos por materia al inició y al final del semestre no fue igual, debido a que algunos alumnos dejaron la materia o no estuvieron presentes el día de la aplicación del cuestionario. Para facilitar los cálculos se eliminaron aquellos que no llenaron el cuestionario al final del semestre.
- Por razones ajenas a esta investigación no fue posible realizar la segunda aplicación en el curso de Biología de Protistas y ni el de Evolución I.



La población total a la cual se le aplicó el cuestionario se muestra a continuación³:

Nombre de la materia	1a Aplicación (inicio del semestre)	2a Aplicación (fin de semestre)
Filosofía e Historia de la Biología	26	19
Biología de Protistas y Algas	22	
Biología Molecular de la célula II	35	28
Biología de Animales I	29	15
Ecología I	33	24
Evolución I	22	
TOTAL	177	86

³ La muestra tomada para la evaluación de cada una de las partes del cuestionario se realizó con base en lo señalado anteriormente.

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS.

PARTE A.

➤ *Origen de la variación.*

Como se ha señalado, las preguntas 1 y 2 del cuestionario exploran las ideas de los estudiantes respecto al origen de la variación. Se contrasta la idea de que el cambio es por necesidad o en respuesta al ambiente, con el hecho de que la aparición de la variación es casual. Los resultados globales se presentan en la siguiente tabla:

Materia	Inicial			Final		
	CV	No Definido	No válido	CV	No Definido	No válido
Filosofía e Historia	5	7	7	5	5	7
Biología Protistas	8	10	4	0	0	0
Biología Molecular I	16	7	5	24	1	3
Biología Animales I	4	7	4	6	5	4
Ecología I	13	6	5	19	4	1
Evolución I	9	5	8	0	0	0

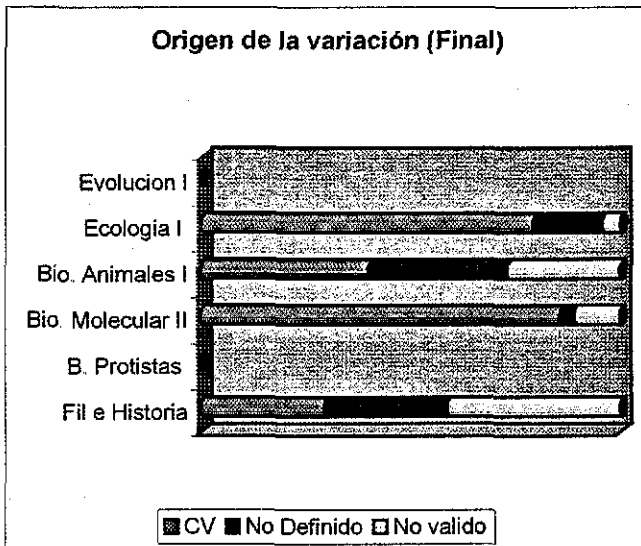
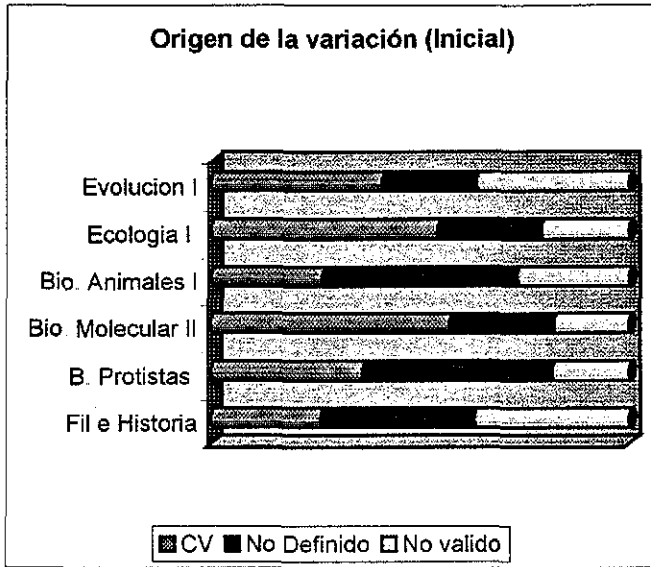
Inicial: inicio del semestre

Final: fin del semestre

CV: Concepción válida

Las siguientes gráficas indican que existe un cambio en la proporción de respuestas válidas y no válidas entre una y otra aplicación. Se observa también que en general aumenta el número de respuestas válidas en la segunda aplicación (a excepción del grupo de Filosofía e historia de la Biología). Sin embargo, no se observa una tendencia clara que nos indique que conforme avanzan los semestres se obtiene un mayor número de respuestas válidas, con relación a las no válidas y las no definidas. Tampoco se observa dicha tendencia entre el inicio y fin del semestre.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Al analizar los resultados por grupo encontramos que en el caso de Filosofía e historia de la Biología, no se observan cambios significativos en la proporción de respuestas válidas y no válidas. Mientras que en los cursos de Biología Molecular de la Célula II y Ecología I se observa un aumento significativo de respuestas válidas, así como un cambio moderado en Biología de Animales.



Al analizar los resultados de cada una de las dos preguntas encontramos en el grupo de Filosofía e Historia de la Biología que existe un mayor número de respuestas no válidas en la pregunta 1 (tanto en la primera como en la segunda aplicación), mientras que en la pregunta 2, la mayoría de los alumnos responde correctamente. Cabe destacar que en la 1a. pregunta, la mayoría de los estudiantes acepta que el color de

pelo de una especie de conejos primitivos de Siberia cambia por la necesidad de confundirse con el ambiente nevado. Mientras que en la pregunta 2 la mayoría sostiene que el color de pelo de los osos polares es resultado de la aparición de mutaciones que les dieron alguna ventaja adaptativa. Es decir, mientras en algunos casos (o contextos) se acepta el origen azaroso de la variación (lo que concuerda con una explicación darwiniana), en otras situaciones se rechaza.

Este hecho puede explicarse si consideramos que en la pregunta 1, el origen aleatorio de la variación se contrasta con la afirmación de que el cambio en cierta característica de la especie (color de pelo en conejos), es resultado de la necesidad, que como hemos visto es una idea muy arraigada entre los estudiantes. Mientras que en la pregunta 2 (color de pelo de osos polares), se contrasta con la idea de que cambio fue gradual y resultado de la adaptación al ambiente, en un sentido lamarckiano, que en este caso es rechazado por la mayoría de los estudiantes de este curso. Es decir, aceptan que el cambio es por necesidad, y no resultado de "seguir al ambiente". Otro aspecto significativo es que al finalizar el semestre no se observan cambios en las tendencias iniciales. Esta misma situación se presenta en el curso de Biología de protistas y algas, mientras que en el resto de los grupos, la mayoría de los estudiantes opta por la respuesta válida.

Como se ha señalado, en las gráficas se muestran los resultados obtenidos del promedio de las dos preguntas, tanto de la primera como de la segunda aplicación.

Es importante insistir en que no contamos con los datos referentes a la 2ª aplicación de los cursos de Biología de Protistas (de 2º semestre) y de Evolución (de 6º semestre), debido a causas ajenas a la investigación.

➤ *Adaptación diferencial.*

Las preguntas 3 y 4 exploran la idea de adaptación diferencial, fundamental para entender el mecanismo de la selección natural. Los resultados sobre este punto se presentan a continuación:

Materia	Inicial			Final		
	CV	No Definido	No válido	CV	No Definido	No válido
Filosofía e Historia	1	15	3	4	13	4
Biología Protistas	4	15	3	0	0	0
Biología Molecular I	9	13	6	19	9	0
Biología Animales I	4	11	0	6	6	3
Ecología I	7	16	1	13	10	1
Evolución I	3	15	4	0	0	0

Inicial: inicio del semestre

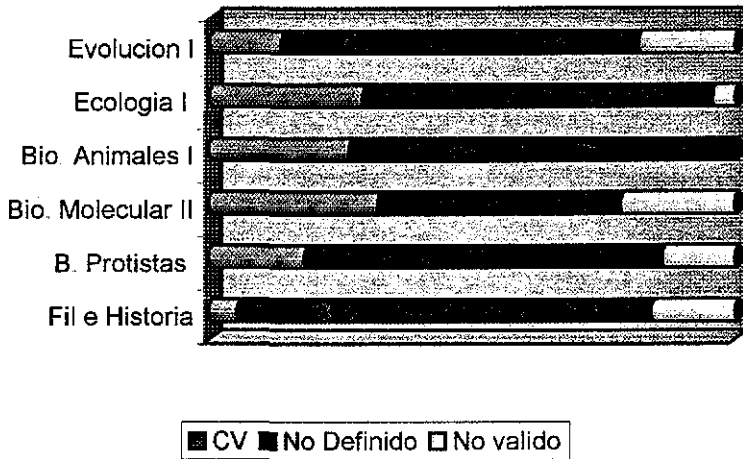
Final: fin del semestre

CV: Concepción válida

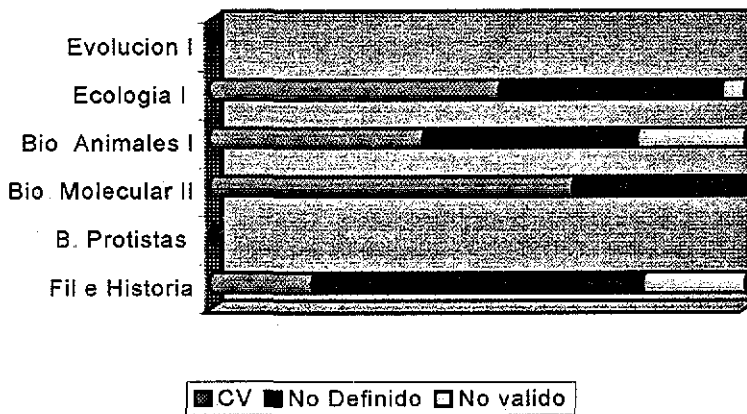
Los resultados muestran que en la aplicación llevada a cabo al iniciar el semestre, se encuentra una gran proporción de alumnos que no presentan una respuesta definida, en todas las materias de los distintos semestres. Aunque esta situación cambio un poco en la segunda aplicación, tampoco se encuentra alguna tendencia clara hacia un mayor número de respuestas válidas conforme avanzan los semestres; situación que se muestra en las siguientes gráficas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

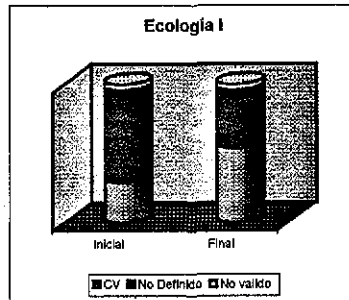
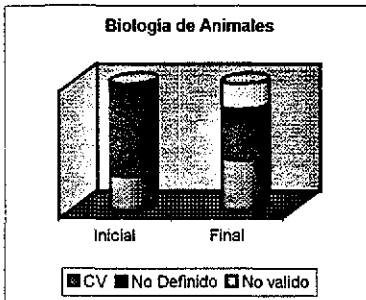
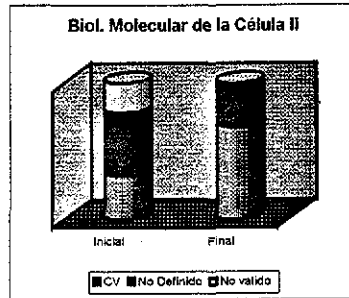
Adaptación Diferencial (Inicial)



Adaptación Diferencial (Final)



Estos datos indican que existe una compleja situación en torno a la comprensión de la adaptación diferencial. Como se muestra en las gráficas siguientes, las respuestas a las preguntas que hacen referencia a este tema revelan un comportamiento distinto en cada uno de los grupos.



Aunque en todos los casos se encuentra un ligero aumento en la proporción de respuestas válidas, siguen presentándose una proporción significativa de respuestas que denotan la falta de definición en torno a este tema.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al analizar los resultados de cada pregunta encontramos, por ejemplo, que en el caso de la pregunta 3, que plantea el problema que surge ante un cambio ambiental, como el hecho de que una población de conejos siberianos fuera llevada a vivir en un lugar sin nieve. Las opciones que se plantean a los alumnos son las siguientes: primero, que los conejos desarrollarán pelo oscuro para confundirse con el nuevo ambiente (como una manera de seguirlo en términos lamarckianos); o, segundo, que algunos conejos debido al color blanco de su pelo tendrían pocas posibilidades de sobrevivencia porque serían fácilmente encontrados por sus depredadores. La respuesta válida es esta última ya que nos indica que existe una adaptación diferencial en virtud de que el color del pelo, ante el cambio ambiental, representa una desventaja adaptativa.

Las respuestas de los estudiantes en su mayoría son válidas tanto en su primera como en su segunda aplicación; a excepción del grupo de Biología de Animales I, donde la mayor parte de los alumnos contesta incorrectamente en la segunda aplicación. Esto significa que en la mayor parte de los grupos se acepta que existen características que son desventajosas y que tienen implicaciones en la sobrevivencia de algunos organismos.

La pregunta 4 nos plantea que ciertas poblaciones de salamandras que viven en las cuevas son ciegas debido a que: se adaptaron al ambiente oscuro de las cuevas (también como una forma de "seguir al ambiente" en términos lamarckianos); o, a que las salamandras con visión murieron sin dejar descendencia. La respuesta válida es esta última en virtud de nos habla de que cierta característica representó una desventaja adaptativa en un momento determinado.

Las respuestas de los estudiantes en este caso son contrarias a las de la pregunta anterior, ya que la mayor parte de ellos responde incorrectamente, tanto en la

primera como en la segunda aplicación. Sólo en el caso de Biología molecular de la célula II y de Ecología I, se contesta de manera correcta en la segunda aplicación.

Esta situación puede indicar que existe confusión respecto a este tema ya que en un contexto se contesta de manera satisfactoria, mientras que en otro no. Otra posibilidad es que no este bien planteado el problema en el cuestionario, y que no estén claras las diferencias entre las dos opciones de respuesta que se presentan.

➤ *Pensamiento poblacional.*

Los datos que se presentan en la tabla son el resultado del análisis de las preguntas 5 y 6 del cuestionario, que exploran la existencia de un pensamiento poblacional en los estudiantes.

Materia	Inicial			Final		
	CV	No Definido	No válido	CV	No Definido	No válido
Filosofía e Historia	3	14	2	9	10	0
Biología Protistas	8	11	3	0	0	0
Biología Molecular I	4	9	5	24	4	0
Biología Animales I	7	8	0	10	5	0
Ecología I	12	11	1	18	5	0
Evolución I	10	11	1	0	0	0

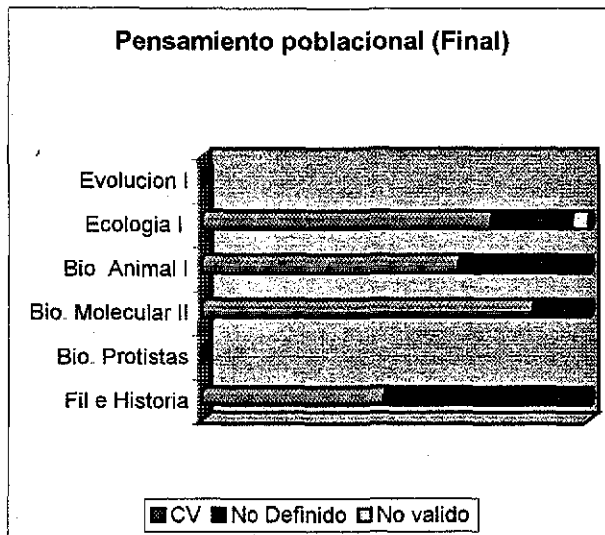
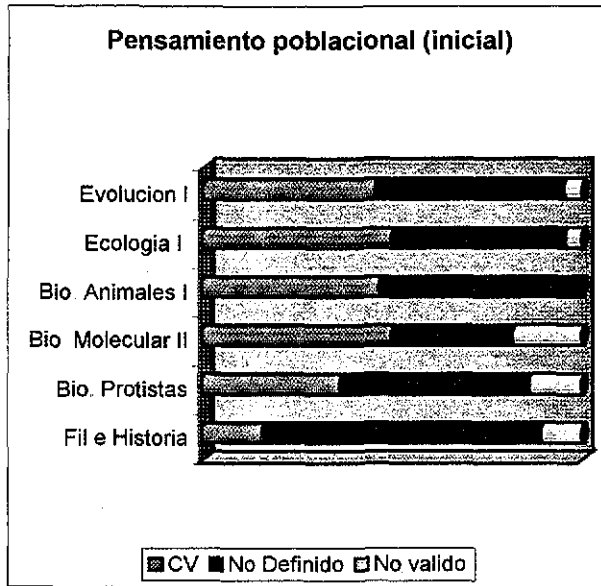
Inicial. inicio del semestre

Final. fin del semestre

CV: Concepción válida

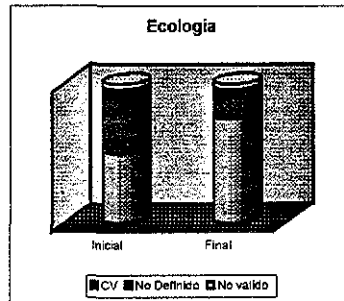
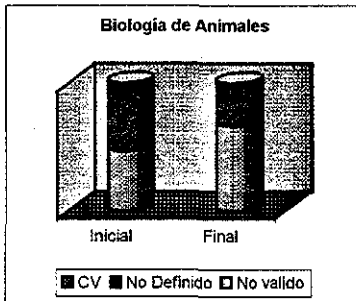
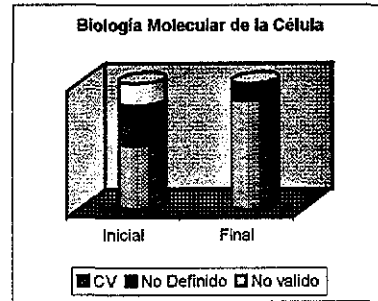
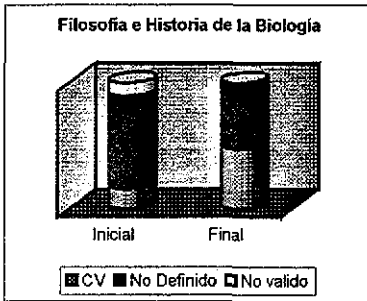
En este caso, como se muestra en las gráficas, si se observa un aumento significativo en la proporción de respuestas válidas en todas las materias estudiadas; aunque no con una tendencia clara conforme avanzan los semestres. También se observa una proporción importante de respuestas no definidas, aunque éstas disminuyen en la aplicación de fin de semestre. Las respuestas no válidas son pocas y disminuyen considerablemente en la segunda aplicación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los resultados por grupo se presentan en las siguientes gráficas:



Los datos presentados muestran que en el curso de Filosofía e historia de la Biología, existe una gran proporción de respuestas no definidas, mismas que se reducen al final del semestre; pero, se mantienen en un número significativo. En el resto de los grupos, el comportamiento es similar, pero, se observa una menor proporción de respuestas no definidas.

Respecto al análisis por pregunta, se encuentra que la pregunta 5 explora acerca de las causas que explican la situación referida en la pregunta 4. Las opciones que se

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

presentan a los alumnos es que la falta de visión representó una ventaja adaptativa para los organismos, lo que condujo a una mayor reproducción, y por tanto, a un aumento en su proporción dentro de la población. O bien, a que el desuso de esta habilidad condujo a que la visión de las salamandras se perdiera. En este caso, de acuerdo con lo planteado anteriormente, la opción primera es la que se considera válida.

Las respuestas a esta pregunta por parte de los estudiantes son confusas. En los grupos de Historia de la biología, Biología de protistas y algas y Evolución I, las tendencias se dirigen a aceptar la idea lamarckiana del "uso y desuso". Este dato es importante porque es de suponerse que los estudiantes de Evolución (del 6º. Semestre de la carrera) deben contar con más elementos para comprender las diferencias entre ambas respuestas. En los grupos de Biología molecular de la célula II y Ecología I, la mayoría de los alumnos contesta correctamente. Mientras que en el de Biología de animales hasta la segunda aplicación se elige por la opción válida.

Los resultados encontrados indican que la comprensión del pensamiento poblacional sigue siendo un asunto complejo. Sin embargo, se observan diferencias significativas en algunos de los grupos, donde las respuestas válidas se mantienen en una proporción importante.

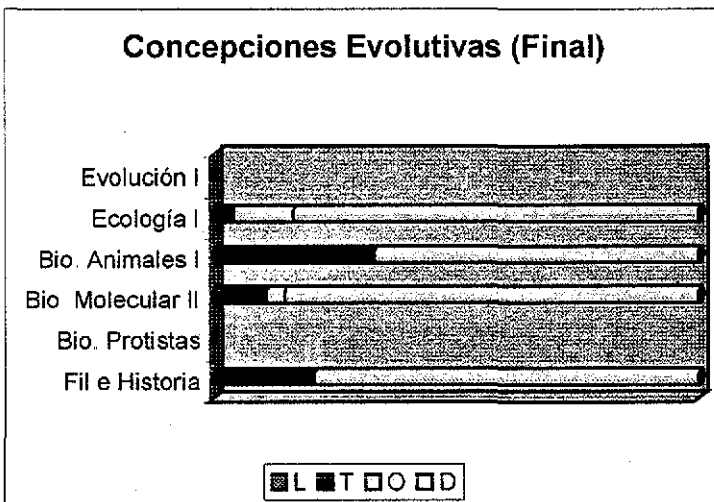
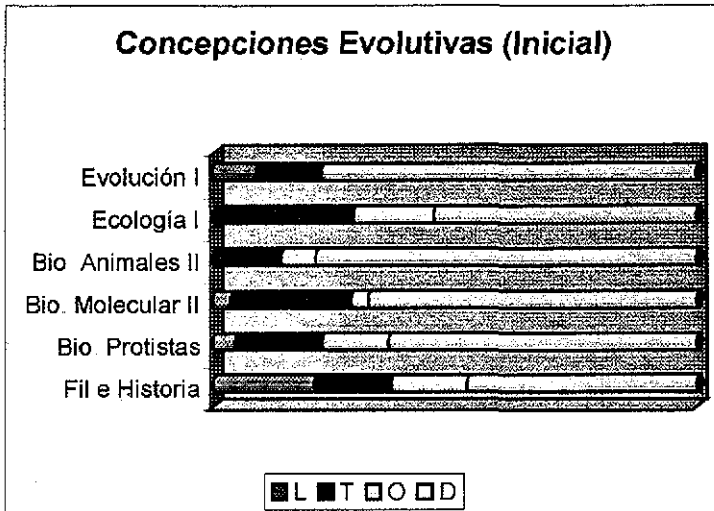
PARTE B.

Como se señaló, ésta parte del cuestionario explora la existencia de concepciones evolutivas más generales en los estudiantes, referidas a explicaciones lamarckianas, orogenéticas, teleológicas o darwinianas.

Como se muestra en la tabla y en las gráficas siguientes, los resultados encontrados indican que en la primera pregunta de esta sección del cuestionario, la mayoría de los estudiantes de todos los grupos (en la primera y segunda aplicación), escoge la opción que señala que la habilidad de los chitas para correr, fue resultado de que algunos pudieron correr más rápido y heredaron esta característica a sus hijos; optando, entonces, por una explicación de tipo darwiniana. Mientras que las explicaciones teleológicas y lamarckianas, se siguen en cuanto a frecuencia.

Pregunta 1									
Materia	Inicial				Final				
	L	T	O	D	L	T	O	D	
Fil. e Historia	4	3	3	9	0	4	0	15	
B. Protistas	1	4	3	14	0	0	0	3	
Bio-Molecular I	1	7	1	19	0	3	1	23	
Bio. Animales I	0	2	1	11	0	5	0	16	
Ecología I	0	7	4	13	0	1	3	20	
Evolución I	2	3	0	17	0	0	0	20	

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN



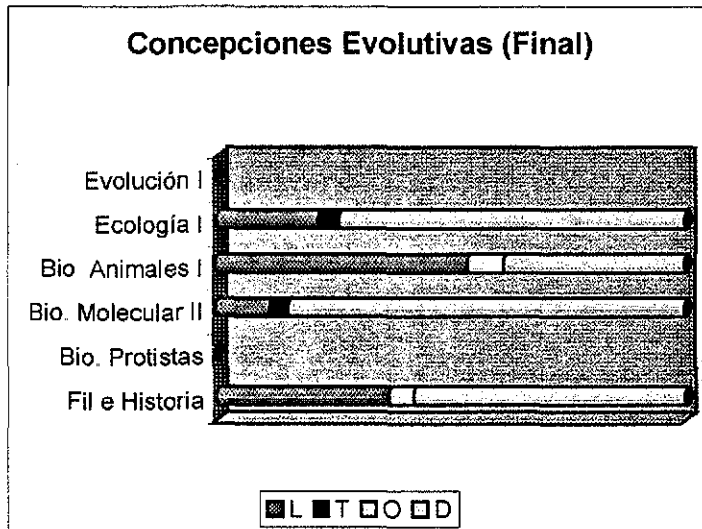
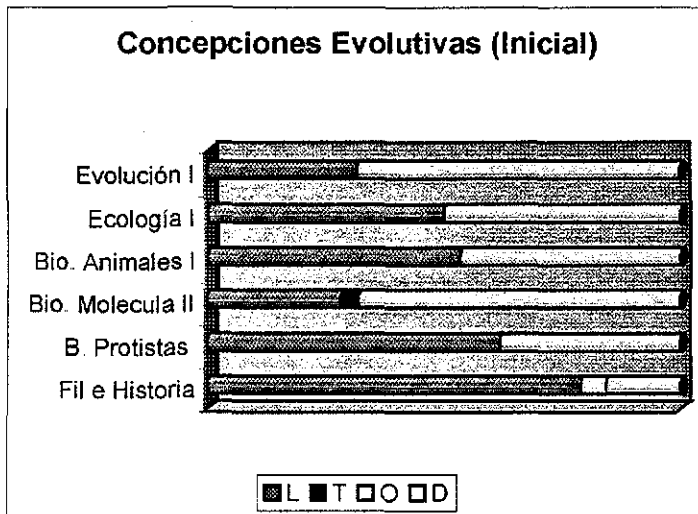
En el caso de la **pregunta 2**, que hace referencia a la resistencia de los mosquitos al DDT, como se muestra en la siguiente tabla, hubo algunas diferencias entre los distintos grupos. En el caso de Filosofía e historia de la biología, en la primera aplicación, las tendencias se van hacia una explicación lamarckiana, que se modifica

en la segunda aplicación, ya que la mayoría de los estudiantes opta por la concepción darwiniana. Lo mismo sucede con el grupo de Ecología I (del 5º. Semestre de la carrera).

Pregunta 2								
Materia	Inicial				Final			
	T	O	b		T	O	b	
Fil. e Historia	15	0	1	3	7	0	1	11
B. Protistas	13	0	0	8	0	0	0	0
Bio Molecular II	7	1	0	17	9	1	1	17
Bio. Animales I	8	0	0	7	7	0	1	5
Ecología I	12	0	0	12	5	1	0	17
Evolución I	7	0	0	15	9	0	0	9

La mayoría de los estudiantes del grupo de Biología molecular de la célula II, en la primera y segunda aplicación, optan por la concepción darwiniana. Por el contrario, en el caso de Biología de animales II y Biología de protistas y algas, la opción más aceptada fue la explicación lamarckiana, tanto en la primera como en la segunda aplicación (en el caso de Biología de animales, ya que, como señalamos, al finalizar el semestre no fue posible aplicar el cuestionario al curso de Biología de protistas y algas). En el grupo de Evolución I, la mayoría opta por una explicación darwiniana. Los resultados se muestran en las siguientes gráficas.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Estos resultados nos indican que las respuestas de los estudiantes dependen del problema planteado, y que siguen apareciendo explicaciones lamarckianas, aunque las tendencias cambian en la segunda aplicación.

PARTE C.

Esta parte del cuestionario ofrece información importante acerca de la comprensión del mecanismo de la selección natural. La mayor parte de los problemas que se plantean a los alumnos, buscan la confrontación entre: la idea de que existen diferencias dentro de la población, que ante cambios ambientales, provoca el aumento en la proporción de ciertos organismos que cuentan con alguna característica que les confiere ventajas en la sobrevivencia o la reproducción; con la idea de que el cambio se da en todos los miembros de la población (lo que refleja que no existen diferencias al interior de la población, o al menos que éstas no son significativas para el proceso evolutivo), que a su vez es resultado de la necesidad, del uso o desuso de ciertas partes, o, de "seguir al ambiente" en términos lamarckianos.

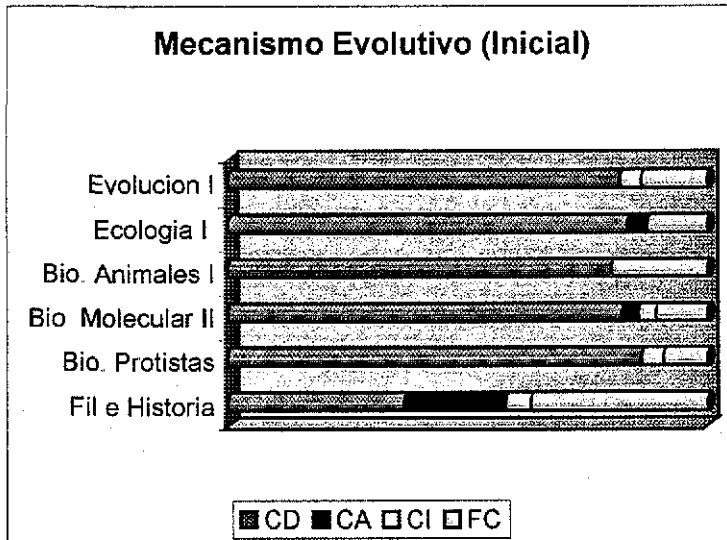
A continuación se presenta una tabla que muestra los resultados encontrados, tanto al inicio como al finalizar el semestre:

Materia	Inicial			
	CD	CA	CI	FC
Fil. e Historia	7	4	1	7
Biología Protistas	19	0	1	2
Biología Molecular II	23	1	1	3
Biología Animales I	12	0	0	3
Ecología I	20	1	0	3
Evolución I	18	0	1	3

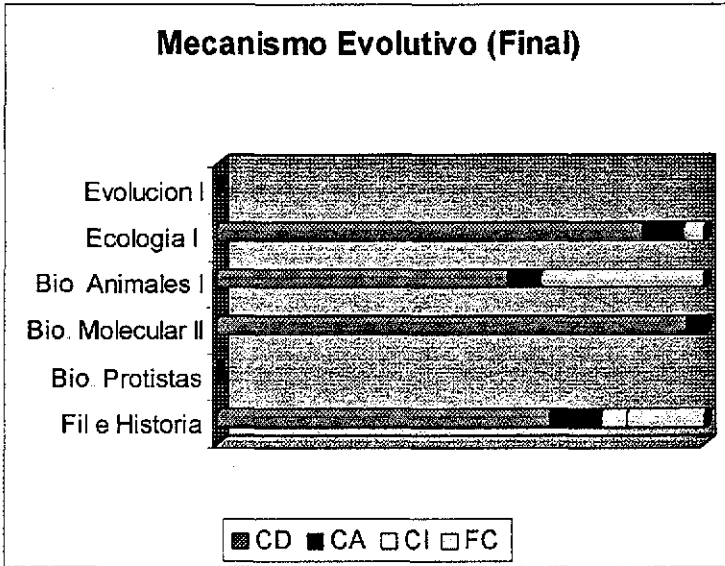
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Materia	Final			
	CD	CA	CI	FC
Fil e Historia	13	2	1	3
Biología Protistas	0	0	0	0
Biología Molecular II	27	1	0	0
Biología Animales I	9	1	0	5
Ecología I	21	2	0	1
Evolución I	0	0	0	0

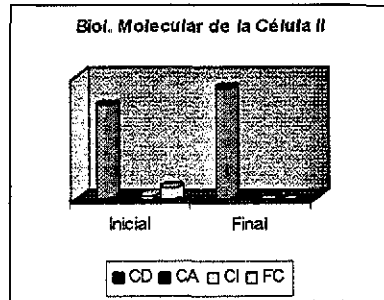
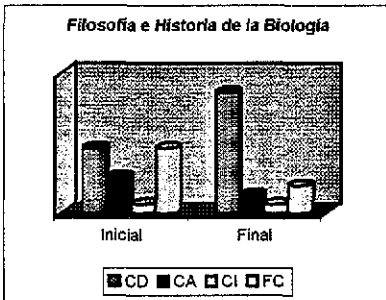
Los resultados de esta parte del cuestionario muestran que la mayoría de los estudiantes optan por concepciones darwinianas, en el total de los problemas planteados, tanto en la aplicación de inicio como al final del semestre. Las siguientes gráficas muestran el comportamiento general de la población.

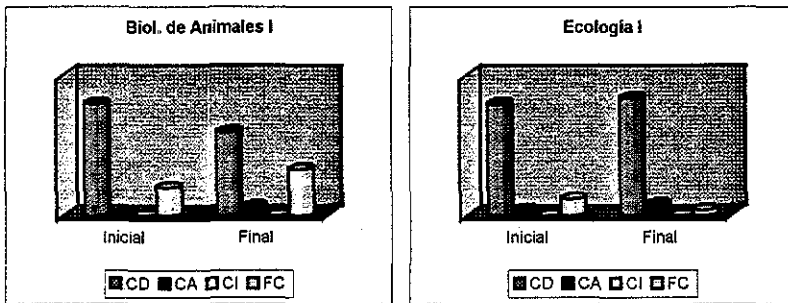


TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



En las gráficas siguientes se presentan los resultados de cada uno de los grupos.





Si detallamos un poco el análisis por pregunta, encontramos, por ejemplo, que en el problema 3, que hace referencia a la gruesa capa de grasa que las focas del polo tienen bajo la piel; se presenta a los alumnos las siguientes opciones: por una parte, que la capa de grasa es resultado de la necesidad de conservar el calor, o que hubo un aumento en la proporción de focas con capas gruesas, lo que nos habla de la existencia de individuos con características distintas dentro de una población. Es decir, se confronta la idea Lamarckiana de que el cambio es por necesidad, con la explicación darwiniana de que hay variación en la población y que el cambio de las especies supone una adaptación diferencial.

En el caso de Filosofía e historia de la biología, la mayoría de los estudiantes tanto en la primera como en la segunda aplicación, opta por la respuesta 1C; que según nuestros criterios de clasificación, correspondería a una respuesta "correcta incompleta", es decir, una respuesta inicial incorrecta acompañada por una razón correcta, que podría tratarse de una concepción alternativa menor o de conocimiento incompleto. En términos de la teoría evolutiva esto significa que los alumnos suponen que el cambio en la capa de grasa de las focas es resultado de la necesidad de conservar el calor, debido a que algunos individuos que tenían capa gruesa sobrevivieron y dejaron descendencia. De esta manera, aunque la explicación es correcta, en términos de que entienden que hay una adaptación diferencial, suponen que el origen de la variación se

debe a la necesidad, y no a la aparición azarosa de dicha característica, que en un momento determinado les confirió ciertas ventajas en la sobrevivencia.

La mayor parte de los alumnos del grupo de Biología de protistas y algas, coincide con la concepción darwiniana (2C); aunque en el segundo lugar de las tendencias, se encuentra la opción 1C, cuya explicación ha sido señalada. Lo mismo sucede con el grupo de Biología molecular de la célula II y el de Ecología I, tanto en la primera como en la segunda aplicación.

La mayor parte de los estudiantes del grupo de Biología de animales, en la primera aplicación, opta por la opción 1C. Sin embargo, se observa un cambio en la segunda aplicación, en el sentido, de que la mayoría escoge la concepción darwiniana (2C). En el caso del grupo de Evolución I, el mismo número de estudiantes opta por la 1C y por la 2C.

Estos resultados indican que en los primeros semestres de la carrera los alumnos mantienen concepciones que no se consideran válidas actualmente, como es la idea de que el cambio es por necesidad. Pero, se pudo detectar que en semestres posteriores estas ideas se modifican y se aceptan las concepciones darwinistas. Contradictoriamente, en el curso de Evolución, las opciones mayoritarias estuvieron divididas entre explicaciones darwinianas y las denominadas "correctas incompletas".

El problema 6 se refiere a la habilidad de los sapos para saltar. Las opciones que se presentan pretenden diferenciar si los alumnos consideran que el cambio se dió en todos los sapos en unas cuantas generaciones (lo que supone un pensamiento tipológico), o si implicó el incremento en el porcentaje de sapos que podían saltar más lejos (pensamiento poblacional). Las opciones para explicar este cambio son: que son resultado del uso y desuso de los músculos, de la necesidad, o de la aparición de un cambio genético que les dió ventajas en la reproducción.

En el caso de Filosofía e historia de la biología (de primer semestre), la mayor parte de los estudiantes, en la primera aplicación, escoge la opción 1C, que de acuerdo con nuestros criterios de clasificación implicaría una "falta de comprensión", que significa que la respuesta inicial es errónea, y es acompañada de una explicación también errónea. Esto supone una completa ignorancia del tema. Esta situación cambia en la segunda aplicación, en virtud de que la mayoría de los alumnos opta por la concepción darwiniana (2B); lo mismo ocurre con el grupo de Biología de protistas y algas.

La mayor parte de los estudiantes del grupo de Biología molecular de la célula II, Biología de animales I, Ecología I y Evolución I, en las dos aplicaciones, optan por la concepción darwiniana: lo que significa que tanto la respuesta como su explicación son correctas.

Estos datos manifiestan la misma situación referida en el problema 6, en el sentido de que en los primeros semestres se encuentran concepciones no validas que se van transformando conforme avanza la formación escolar.

El problema 10 se refiere a la respuesta de los organismos ante cambios ambientales. En particular habla del efecto que tiene, en una población de lagartijas de piel verde y amarilla, la eliminación de los pastos amarillos donde viven. Las opciones son que las lagartijas amarillas perderán poco a poco su color; o que aumentará la proporción de lagartijas verdes. Las explicaciones son las siguientes: que las lagartijas verdes escaparán a sus depredadores y se reproducirán (explicación darwiniana), que se irán adaptando al ambiente (seguirán al ambiente en el sentido lamarckiano), o que las lagartijas cambian su color para sobrevivir.

Los estudiantes de todos los grupos analizados, en su mayor parte optan por la concepción darwiniana (respuesta y razón correcta), tanto en la primera como en la segunda aplicación.

Esta información nos muestra que en esta parte del cuestionario se encuentra un mayor número de respuestas válidas, con relación a las otras partes del instrumento; y, aunque siguen manteniéndose concepciones no válidas, se observa una transformación significativa hacia explicaciones darwinianas.

3.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los datos que se reportan constituyen una primera aproximación al estudio de las concepciones evolutivas de estudiantes de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Aunque es necesario realizar un estudio más profundo sobre esta situación, así como probar otro tipo de instrumentos o enfoques metodológicos, es posible plantear algunas consideraciones de carácter general.

- Es posible señalar que en este nivel educativo, los datos confirman la existencia de algunas de las principales concepciones alternativas reportadas en la literatura, sobre todo en los primeros semestres de la carrera.
- Se encuentra una situación compleja en torno a la comprensión de la adaptación diferencial y el pensamiento poblacional. Los resultados nos indican una falta de claridad en algunos de problemas considerados, mientras que en otros, los estudiantes tienden a dar explicaciones darwinianas. Al respecto puede señalarse que sigue siendo un punto conflictivo; pero también habría que destacar que el instrumento utilizado en algunas preguntas no estaba claramente planteado.
- En algunos casos se siguen manteniendo concepciones de tipo lamarckiano, como la idea de que el cambio es por necesidad, o como resultado del uso y desuso de ciertas partes de los organismos. Tampoco es suficientemente clara la idea de que la aparición de las variaciones dentro de una población es espontánea, y de que su carácter adaptativo va a depender del contexto en que aparece.
- Un problema recurrente que puede inferirse de los datos, es que muchas veces los estudiantes hacen equivalente el cambio por necesidad, con el proceso de adaptación. Es decir, piensan que las características que presentan los individuos son necesarias para su sobrevivencia. Esto es válido, pero el

problema radica en que los estudiantes no diferencian el origen azaroso de dichas características. En este sentido, puede verse la necesidad como adaptación, pero, dicha necesidad no tiene relación con el surgimiento de la variación, es decir, la variación no surge para resolver las necesidades de los organismos. En cambio, la selección natural, en este sentido, si responde a las necesidades adaptativas de los organismos, aspecto que no es claro para los estudiantes.

Respecto a los resultados encontrados, es importante señalar que en algunos problemas (sobre todo de la parte C del cuestionario, como es el caso del problema 10), los estudiantes optan por explicaciones darwinianas, lo que nos indica una mayor comprensión del tema, con relación a otros niveles educativos, sobre todo en semestres posteriores del plan de estudios (particularmente en grupo de Biología molecular de la célula), lo cual nos habla de que si existen transformaciones significativas a lo largo de la carrera de biología.

Existen varios aspectos que podrían explicar estos resultados, en primer lugar, los estudiantes en este nivel, ya son pensadores abstractos, lo que les permite razonar sobre enunciados e hipótesis. En este sentido, tienen mayores posibilidades de comprender temas, como por ejemplo, el tiempo geológico. Otro aspecto importante es que el plan de estudios, como se señaló anteriormente, tiene a la teoría evolutiva como columna vertebral del currículum. En particular, el curso de Filosofía e Historia de la Biología que se imparte en primer semestre, analiza de manera detallada cómo fue construida la teoría de la selección natural, enfatizándose en los antecedentes y los aspectos que fueron centrales para su elaboración. Esto, sin lugar a dudas, ayuda a los estudiantes a comprender los aspectos fundamentales de la teoría, que en otros cursos (como el de evolución de 6º semestre) se amplían, se profundizan y se estudian con detalle, incorporándose además todas las polémicas generadas después de la publicación del *Origen de las Especies*.

Ahora bien, con base en los resultados reportados en la literatura y los encontrados en el trabajo de campo, en el siguiente capítulo se definen y se proponen dos tipos de explicación sobre los principales obstáculos epistemológicos que dificultan la comprensión de la teoría de la selección natural. Con el entendido de que deben ser motivo de importante reflexión en la escuela, ya que la superación de dichos obstáculos es fundamental para entender las bases conceptuales del evolucionismo contemporáneo.

CAPÍTULO V

LAS PRINCIPALES CONCEPCIONES EVOLUTIVAS ALTERNATIVAS.

1. LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS FUNDAMENTALES.

Como hemos visto, el evolucionismo constituye un amplio programa de investigación, conformado por un centro firme que plantea que la evolución implica dos procesos fundamentales: uno azaroso -la producción de variación- y uno determinístico -la selección adaptadora-; otro aspecto importante es que la evolución tiene una naturaleza dual: adaptación al interior de la especie y diversificación a todos los niveles taxonómicos a partir del proceso de especiación. El evolucionismo también está formado por un conjunto de teorías auxiliares que explican aspectos particulares del proceso y que abarcan objetos de estudio derivados de varios campos de conocimiento, como la genética, la paleontología, la anatomía comparada, entre muchas otras disciplinas. Estas características hacen que este tema sea difícil de comprender, ya que involucra varios niveles de organización de lo vivo.

La información que ha sido presentada en el capítulo anterior nos muestra que los alumnos tienen problemas para entender este "núcleo duro", por lo que es de suponer que conceptos o teorías auxiliares, si son comprendidos o no, serán asimilados a una estructura conceptual que parte de bases equivocadas, por lo que no será posible lograr una adecuada comprensión del proceso evolutivo en los distintos niveles en los que se aborde.

De los estudios analizados y de los resultados encontrados en el trabajo de campo, podemos tipificar las principales concepciones alternativas, que son comunes en los estudiantes, y que constituyen obstáculos epistemológicos, debido a que son elementos centrales en la estructura conceptual de la teoría de la selección natural, por tanto fundamentales para su comprensión. Entre las más importantes encontramos las siguientes:

➤ *Origen y mantenimiento de las variaciones.*

Diversos estudios realizados, incluyendo el presente trabajo, muestran que las interpretaciones de los estudiantes, no válidas desde el punto de vista científico, particularmente sus ideas acerca del concepto de selección natural, se deben a que explican el proceso mediante dos consideraciones equivocadas: primero, que la variación en las poblaciones tiene poca importancia en el proceso; y segundo, que la naturaleza de los cambios no es al azar (Jeffery y Roach, 1994; Smith et al, 1995; Vincenzo, 1994). En este mismo sentido, Brumby (1979) sostiene que la mayoría de los estudiantes hablan de un "proceso de mutación" (que significa un cambio permanente en una característica) que supone que todas las mutaciones son causadas por cambios en el medio, por tanto el cambio surge debido a que es necesario y es por definición adaptativo. El trabajo de campo también muestra que en varios casos no existe claridad por parte de estudiantes universitarios en cuanto a cómo se producen las variaciones en los organismos y cual es su papel en el proceso evolutivo. Así, el origen y el mantenimiento de nuevos caracteres en las poblaciones constituye una de las principales diferencias que existen entre las explicaciones de los estudiantes y los evolucionistas contemporáneos.

El evolucionismo, como vimos, plantea que el cambio de las especies está dado por dos procesos fundamentales: la producción azarosa de la variación, dada por mutaciones o recombinación genética; y, el mantenimiento de ésta mediante el mecanismo de la selección natural. Esto significa que la variación aparece de manera espontánea dentro de una población, y su carácter adaptativo depende de las condiciones específicas del medio en que se presenta. Por ello, se habla de un proceso en el que intervienen el azar y la necesidad.

El evolucionismo, entonces, reconoce que dos procesos distintos, fundamentalmente diferentes en causas y efectos, influyen en las características exhibidas en las poblaciones en el tiempo. Las nuevas características se originan debido a cambios azarosos en el material genético (mutación azarosa o recombinación sexual) que sobreviven o desaparecen a causa la acción de la selección natural. La mayor parte de los estudiantes no reconocen la existencia de estos dos procesos; no establecen la distinción entre la aparición de características en una población y su supervivencia en el tiempo. Ellos piensan que hay un solo proceso en el cual las características de las especies cambian gradualmente. Los estudiantes creen que el ambiente (más que procesos azarosos y la selección natural) causa el cambio de las características en el tiempo. Ideas acerca del mecanismo mediante el cual el ambiente influye en los cambios pueden ser explicados por medio de la *necesidad* (los organismos desarrollan nuevas características porque las necesitan para su sobrevivencia; *el uso y desuso* (las especies cambian porque sus miembros usan o dejan de usar ciertas partes del cuerpo o ciertas habilidades; la *adaptación* (usada en un contexto cotidiano como un cambio en los individuos en respuesta al ambiente).

La falta de comprensión del efecto combinado de mutación azarosa y la selección no azarosa es un problema especialmente persistente. En este sentido, es importante

señalar que estos aspectos son discutidos en el campo del evolucionismo contemporáneo; pero, las ideas de los estudiantes no son semejantes a estas polémicas, sino a teorías hace tiempo desacreditadas por la comunidad biológica. En muchos casos, las explicaciones de los alumnos son implícitamente lamarckianas. Esto implica que las características adquiridas pueden ser heredadas y aún cuando los estudiantes rechacen el lamarckismo, tienen una inadecuada comprensión del cambio evolutivo, ya que es visto como un proceso único en el sentido señalado en el párrafo anterior. Esto puede deberse a que no comprenden la compleja explicación alternativa que plantea la teoría de la selección natural como un proceso en el que intervienen el azar (en el origen de la variación) y la necesidad (la permanencia o no de la variación como resultado de la acción de la selección natural). Este carácter dual de la evolución o de la explicación de la evolución crea confusión a los estudiantes. Muchos piensan que la producción de variaciones es dirigida a resolver las necesidades, los problemas biológicos de los organismos y en ocasiones, cuando logran entender que lo que no es azaroso es el carácter adaptativo o no adaptativo de una variación, asumen que la evolución es resultado del azar y no comprenden el papel determinístico de la selección natural; no logran deslindar entre los eventos azarosos como la mutación y la deriva génica y los determinísticos como la selección natural.

Otra razón, es que los alumnos no son capaces de distinguir entre explicaciones causales y funcionales. Para muchos estudiantes, una explicación acerca de la función de cierta característica en un individuo es suficiente para explicar como dicha característica ha aparecido y evolucionado. Por ejemplo, el hecho de que en la actualidad los puerco espines necesiten sus espinas para sobrevivir, es tomado como una explicación satisfactoria sobre como dichas espinas aparecieron; y efectivamente, el evolucionismo plantea que sí fue favorecido por la selección natural, aunque su aparición no fue provocada, sino que fue resultado del azar. En este sentido, los

estudiantes deben entender que el azar tiene límites, pueden aparecer ciertas características con base en las ya existentes. La aparición de las espinas de los puerco espines supone estructuras previas que por mutaciones dan origen a dichas espinas, mismas que, por ejemplo, no pueden aparecer en otros organismos que no tengan tales estructuras previas. En suma, tienen que entender que no puede aparecer cualquier variación en cualquier organismo, el límite es la información genética que tengan. También deben comprender que la selección natural es acumulativa, que no es en un solo paso en que se desarrollan los caracteres, ya que su acción es gradual.

Así, aunque los alumnos son capaces de reconocer la existencia de variaciones, incluso las ven en su propia especie; no entienden que dichas variaciones surgen sin relación con las necesidades de los organismos; es decir, no comprenden que surgen de manera espontánea. De esta manera, aún cuando pueden percibir las variaciones que existen en las especies, se les dificulta comprender el mecanismo de la selección natural, como un proceso oportunista, en el sentido de que no provoca los cambios, sino que aprovecha los que ya existen. Darwin llamó selección natural a la preservación de las variaciones favorables y la supresión de las desfavorables. Consideró que la selección natural no puede hacer nada sin el surgimiento de variaciones. La selección, como se señaló, no provoca los cambios, pero si orienta la transformación de los seres vivos favoreciendo a los que presentan variaciones que les confieren alguna ventaja, ya que una variación por pequeña que sea puede ser la diferencia entre la sobrevivencia y la muerte y entre la posibilidad de dejar descendencia o no.

➤ *El origen de la variación y la adaptación.*

Hemos visto que la adaptación en general es descrita como un proceso positivo, en lugar de considerarla como el resultado la acción de la selección natural. Los alumnos al considerar que los cambios surgen como resultado de la necesidad, suponen que son

de inmediato adaptativos, es decir, la adaptación de los organismos al medio es perfecta.

Un aspecto que es importante señalar respecto a este punto, es que algunas veces, lo que los estudiantes entienden por necesidad, tiene que ver con el concepto de adaptación. Es decir, muchas veces consideran que los organismos presentan una determinada característica porque es necesaria para su sobrevivencia. Esto es válido, ya que efectivamente las características de los seres vivos tienen que ver con sus posibilidades de sobrevivencia, en este sentido son necesarias. El problema fundamental es poder diferenciar cómo aparecen dichas características, ya que no se presentan porque se necesiten, sino de manera espontánea, y dependiendo de las condiciones del medio serán seleccionadas y podrán mantenerse dentro de la población. Es decir, el punto medular es diferenciar entre la idea de necesidad, como adaptación, y de necesidad como algo dirigido.

Además, existe mucha confusión en la terminología. Adaptar, en el contexto evolutivo, significa un cambio en respuesta a una situación ambiental. Cuando se usa en un contexto cotidiano, la palabra se refiere al cambio de un individuo como resultado de un esfuerzo propio; por ejemplo, cuando "los perros se adaptan a una nueva casa", que más bien se refiere a un proceso de aclimatación. Aunque hay diferentes interpretaciones al respecto, en el marco del evolucionismo, el uso de palabras como "adaptar" o "adaptación" se refiere más bien a fenómenos poblacionales, en los cuales las poblaciones cambian su estructura en muchas generaciones, como resultado de la acción de la selección natural. El cambio evolutivo es dirigido por la reproducción y muerte de los individuos, no por cambios que ocurren durante el ciclo de vida de los organismos. Los estudiantes escuchan la palabra adaptación en un contexto evolutivo, pero, construyen su significado en función del uso común. Esto tiene a reforzar la

concepción señalada anteriormente de que el medio directamente influye en la aparición y desarrollo de las características de los organismos.

El concepto de "apto" también causa mucha confusión. En el lenguaje común, el término es usado para denotar sano, fuerte e inteligente. En el contexto evolutivo, el término ha generado muchas controversias, generalmente es usado para expresar la capacidad relativa de los individuos (o genes) para producir descendencia. En el sentido evolutivo, cualquier característica genética que incrementa la capacidad de un organismo para producir descendencia viable puede incrementar su aptitud. Los estudiantes operan con la primera definición, entonces, sólo reconocen como características útiles para mejorar la aptitud, a la salud, la fuerza y la inteligencia. Estas ideas de los alumnos tienden a ser reforzadas por la popularización incorrecta de la selección natural vista como "sólo el fuerte sobrevive".

➤ *El papel de la variación y el enfoque poblacional.*

La teoría de la selección natural plantea que las poblaciones evolucionan porque algunos de sus miembros, debido a sus características genéticas, poseen ventajas reproductivas respecto a otros miembros de la población. De esta manera, la variación dentro de la población es una condición esencial para el cambio evolutivo. Pero, para muchos estudiantes la variabilidad dentro de las poblaciones no tiene importancia en el proceso. En su lugar, piensan que las poblaciones están compuestas por miembros individuales, y que el proceso evolutivo moldea a las especies como un todo.

En este mismo sentido, Greene (1990) sostiene que una de las concepciones de los estudiantes de las que parten para analizar el proceso evolutivo es la consideración de que la población es una colección de individuos representada por un tipo común y por

tanto, la variación entre individuos tiene poca importancia en el proceso evolutivo. De esta manera, si los estudiantes consideran a las poblaciones como un tipo estable, entonces, los individuos son vistos como esencialmente iguales y sus variaciones tendrán poca importancia. El cambio será visto como algo que se genera cuando es necesario, y las variaciones en la población son consideradas como imperfecciones del tipo y por tanto, no son importantes desde el punto de vista evolutivo.

La carencia de un pensamiento poblacional dificulta la comprensión de la evolución como un cambio en la proporción de individuos con características discretas. Como se ha señalado, el evolucionismo sostiene que las nuevas características surgen a través de cambios genéticos discretos que se presentan en los individuos de una población. Al ser seleccionados, dichas características se establecen gradualmente en una población debido a que la proporción de individuos que las poseen aumenta en cada generación. Las concepciones de los estudiantes atribuyen este cambio evolutivo gradual, no como cambios en la proporción de individuos en una población, sino al cambio gradual de las características de los organismos en sí mismas, las cuales pueden mejorarse o deteriorarse de una generación a la siguiente.

Este aspecto es fundamental, ya que el pensamiento poblacional es una concepción básica para comprender el proceso evolutivo, particularmente, el mecanismo de la selección natural. Como vimos, sólo hasta que Darwin aplica un pensamiento poblacional a su concepto de lucha por la existencia puede hacer el cambio conceptual clave de reconocer la lucha por la existencia entre individuos de una población, aspecto que le permitirá plantear el mecanismo de la selección natural.

Cuando Darwin lee a Malthus se da cuenta de la desproporción que existe entre el gran número de descendientes -sobrepoblación- y la escasa cantidad de recursos que

se requieren para su sobrevivencia, y de que esto trae como consecuencia que la mayoría de los individuos de cada generación no tenga éxito; por tanto, debe existir una desmesurada lucha competitiva entre ellos para lograr su supervivencia. De esta manera, Darwin conoce en la economía política clásica una interacción que la biología no ha descubierto, la competencia al interior de una especie, la lucha entre organismos que requieren los mismos recursos. En ese momento de crisis (ver capítulo II), Darwin está muy enterado de la problemática de la variación y relaciona dos cuestiones esenciales: la variabilidad entre los individuos de una misma población y la lucha por la existencia. Esto significa que los organismos que conforman una población son diferentes, que tienen que luchar entre ellos porque los recursos son limitados y que los organismos más fuertes triunfan en esa lucha, es decir, son diferentes en cuanto a su aptitud.

Así, lo que Darwin entiende con el concepto de población es que la suerte de cada individuo (si muere o no, si tiene descendencia o no) va a afectar la historia, el devenir de la población. Por tanto, entender el concepto de población le permite entender la adaptación o adecuación diferencial, es decir, le permite entender que las diferencias cuentan, que los organismos no son copias imperfectas de un tipo o esencia¹, sino que dichas diferencias pueden hacerlos más o menos aptos en diferentes condiciones. Esto es fundamental, ya que en una situación ambiental, un organismo puede ser más adaptado, pero si las condiciones cambian, puede ser que el más apto sea otro. Esto acaba con la idea de que el tipo es perfecto y los demás imperfectos, lo que hace que la adaptación sea relativa, y lo que permite que actúe la selección natural. En suma, las diferencias que Darwin entiende con el concepto de población, no se refieren a

¹ La idea de que hay un tipo o esencia no implica que todos los seres sean idénticos, lo que afirma es que todos los organismos, o en general, todos los seres, son copias imperfectas del tipo, la esencia, la idea divina que dio origen a dicho ser.

diferencias físicas o conductuales, se refiere a que tales diferencias tienen una influencia más o menos determinante en la capacidad de sobrevivencia y reproducción.

Los estudiantes, como hemos visto, en varias ocasiones suponen que la población es un conjunto de individuos que representan un tipo común y, por tanto, las variaciones entre los individuos no tienen gran relevancia en el proceso evolutivo; aunque consideran que una población está formada por individuos con características distintas, pues esto es algo que puede observarse, no logran entender que estas diferencias son las que se seleccionan de acuerdo con las ventajas adaptativas que le confieren en un momento dado. Suponen que un cambio en un individuo da cuenta de la evolución de las poblaciones en varias generaciones, por tanto, la población es concebida como una colección de individuos representados por un tipo común. La variación en una población tiene poca importancia en el proceso evolutivo; y, como el cambio es visto como el resultado de la necesidad, la idea de adaptación diferencial no tiene mucho sentido. Como se ha señalado, la evolución es entendida más bien como un proceso que homogeiniza a las especies; donde las nuevas características se difunden en la población. Los estudiantes consideran que los cambios se van dando de manera gradual entre una generación y otra en todos los miembros de una población. Estas concepciones constituyen uno de los aspectos fundamentales que dificultan la adecuada comprensión de la teoría.

En suma, se puede señalar que las principales concepciones evolutivas de estudiantes encontradas tanto en el trabajo de campo como en la literatura tienen que ver con los siguientes aspectos:

Los organismos desarrollan nuevas características porque son necesarias para su supervivencia; es decir, el cambio se da por necesidad.

Los individuos cambian permanentemente debido al uso o desuso de sus partes.

Los cambios son de inmediato adaptativos (adaptación perfecta e instantánea).

No es claro que las variaciones sean el sustrato sobre el que actúa la selección natural.

Se considera que el medio es el responsable del cambio evolutivo de las especies y no el azar y la necesidad vinculados al proceso.

No se reconoce la independencia de los procesos de producción de variación y el de su selección y mantenimiento en la población.

Las poblaciones son consideradas como conjuntos de individuos que representan un tipo común. No se considera que una población está conformada por individuos con distintas características, y que estas diferencias proveen a sus portadores una mayor o menor posibilidad de descendencia y, por tanto, son las que se seleccionan de acuerdo con las ventajas adaptativas que les confieren en un momento dado. Es decir, no entienden la idea de adaptación diferencial.

No se maneja mucha información sobre las fuentes de variación de los seres vivos (sobre todo en niveles inferiores a la licenciatura).

Se extrapola la idea de cambios que ocurren en la vida de los organismos para explicar los cambios ocurridos en las poblaciones en muchas generaciones, por lo que existen problemas para comprender las diferentes escalas de tiempo.

El asunto ahora es cómo explicar estas concepciones desde los puntos de vista cognoscitivos e históricos. En el siguiente punto abordaremos estos aspectos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. DOS ENFOQUES PARA EXPLICAR LAS CONCEPCIONES EVOLUTIVAS DE LOS ESTUDIANTES.

La información presentada muestra la gran dificultad que tienen los estudiantes de diferentes niveles educativos para entender los razonamientos científicos que sobre la evolución orgánica se le ofrecen en la escuela. En este apartado se analizan estas dificultades, tratando de plantear una explicación acerca de la problemática que encierra la modificación de las ideas previas de los estudiantes, considerando algunos aportes provenientes de las teorías cognitivas en el campo de la pedagogía y de la reconstrucción histórica de la teoría de la selección natural.

2.1. EL ENFOQUE PSICOPEDAGÓGICO.

Como vimos en el capítulo III, diversos autores han señalado que los alumnos son individuos activos en el proceso de aprendizaje, ya que seleccionan, asimilan, y construyen conocimiento a partir de la confrontación de sus ideas previas con los contenidos que se le ofrecen en la escuela. Dichas ideas previas están conformadas por estructuras conceptuales que tienen una lógica interna que es extremadamente resistente al cambio, y en general, la mayoría de las personas, las mantiene durante toda su vida como parte de su sistema de creencias sobre la naturaleza. De esta manera, los alumnos organizan el nuevo conocimiento, buscando que tenga sentido con estas concepciones; de tal modo que el contenido de enseñanza constituye la fuente donde el individuo construye conocimiento, pero éste es recortado, descodificado o explotado, dependiendo del marco de referencia que se adopta, del conocimiento previo y de las interacciones con otros individuos.

La comprensión de un tema tiene que ver, entonces, con la existencia de modelos mentales en el individuo (que le permiten explicar y predecir de manera exitosa algunos aspectos del mundo real) que, a su vez, se confrontan con el contenido escolar.

Las personas, además, contamos con diversos modelos organizados de manera jerárquica, que son utilizados cuando no existen explicaciones más accesibles o válidas. Dichos modelos alternativos, generalmente basados en el antropomorfismo o el sentido común, son extremadamente resistentes al cambio.

En el caso de la teoría de la selección natural, la situación es bastante compleja. Las ideas previas de los estudiantes conforman una estructura conceptual que tiene una lógica interna, que puede ser explicada si tomamos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Está fuertemente relacionada con concepciones más generales sobre el mundo y la naturaleza, que han estado muy arraigadas en el pensamiento de la humanidad.
- La dificultad para entender el papel del azar en la evolución, puede deberse a que está muy arraigada la idea de que todo tiene un fin y una dirección, lo que puede estar relacionado con creencias religiosas o con algún agente metafísico como "la naturaleza". Esto último se evidencia con frases como "la naturaleza es sabia" y mucha gente cree que la naturaleza puede hacer cualquier cosa y que no tiene restricciones, por ello creen, que si un organismo necesita un órgano, la naturaleza se lo hace aparecer, como si no hubiera restricciones genéticas, estructurales, etc.
- El pensamiento tipológico puede ser resultado del hecho de que los estudiantes consideren que la población es un elemento estable; el alumno, entonces, pensará que los individuos de dicha población son esencialmente iguales y no le dará mayor importancia a la variación, y por supuesto, menos a las consecuencias de la variación, la reproducción diferencial.

- La idea de que todo tiene un fin, puede llevar a considerar a los estudiantes que el cambio sólo se lleva a cabo cuando se necesita, lo que repercutirá en la concepción general del cambio evolutivo.
- La idea de que los cambios en la vida de los organismos provocan los cambios evolutivos y la gran dificultad para ubicar el tiempo geológico, hace virtualmente imposible una comprensión adecuada de la teoría.
- La teoría de la selección natural no es perceptualmente obvia; y los estudiantes requieren referencias en su mundo real para poder asimilar de mejor manera una explicación científica.

Pero, ¿qué es lo que hace posible la modificación de las ideas previas?

En el contexto de los modelos del Cambio Conceptual, se han analizado las estrategias mediante las cuales los estudiantes responden cuando sus creencias comunes acerca del mundo son contradictorias con la información que se le presenta en la escuela. Conocer estos aspectos es esencial para los estudios sobre educación ya que es típico que los estudiantes se resistan a abandonar sus creencias, como hemos visto que sucede con el evolucionismo. En lugar de abandonar o modificar estas creencias ante los datos o ideas en conflicto, los estudiantes frecuentemente mantienen estancadas sus viejas ideas y rechazan o distorsionan las nuevas. En este sentido, entender cómo los estudiantes responden ante los datos anómalos (datos que no son explicados satisfactoriamente por las teorías) es fundamental para la educación.²

² Chinn y Brewer (1993) explican el dato anómalo de la siguiente manera: Un individuo tiene una teoría común A. El individuo encuentra datos anómalos que no puede explicar la teoría A. El dato puede ser anómalo porque entra en conflicto con la teoría A o simplemente porque ésta no puede ser usada para dar una

Según Chinn y Brewer (1993) existen 7 formas psicológicas de respuesta ante los datos anómalos de científicos y estudiantes: ignorar el dato anómalo (es la forma más extrema de respuesta, ya que la teoría A se mantiene intacta); rechazar el dato anómalo (el individuo no acepta el dato y no hay ningún cambio en la teoría A, la diferencia con la anterior es que el rechazo implica que el individuo puede articular una explicación de por qué los datos son rechazados); excluir el dato anómalo (se declara que el dato está fuera del dominio de la teoría); mantener el dato en suspenso (el individuo no necesita presentar una explicación inmediata del dato anómalo y asume que algún día la teoría A puede ser articulada para explicar el dato); reinterpretar el dato anómalo (el individuo puede aceptar el dato anómalo, sin embargo, preserva su teoría anterior); cambiar la teoría periférica (el individuo hace una modificación menor de su teoría, pero no está dispuesto a abandonar la teoría A y aceptar la B); cambio de teorías (el individuo acepta los nuevos datos y los explica mediante el cambio de los presupuestos centrales de la teoría A y acepta una teoría alternativa). Para ello, el individuo debe considerar que el dato es accesible, que puede ser explicado y que la teoría debe cambiarse para coordinarla con el dato. Esto último implica que el individuo acepta el dato como válido y puede proveer una explicación de por qué el dato es o no aceptado, además de que cambia su teoría previa. Así, la única razón para cambiar la teoría A, es para explicar el dato anómalo.

A partir de la información encontrada en el trabajo de campo, no es posible conocer con precisión cuáles fueron las respuestas de los alumnos ante las anomalías que resultaron de la confrontación de sus ideas con el contenido escolar (en el sentido de que se ignoraron los datos anómalos o los mantuvieron en suspenso, etc.). Es decir, de la confrontación entre sus concepciones lamarckianas con la explicación darwinista o

explicación del dato. El dato anómalo puede o no ser acompañado de una teoría B, la cual debe explicar el cuerpo de datos que daba cuenta la teoría A, más el dato anómalo.

neodarwinista ofrecida en la escuela. Sin embargo, un análisis general de los datos permite suponer que conforme avanzaron los semestres, se encuentran modificaciones en las tendencias iniciales que indican que los estudiantes, en algunos casos, reinterpretaron los datos, en otros cambiaron la teoría periférica, e incluso llegaron a cambiar sus explicaciones previas (sobre todo en semestres posteriores de la carrera).

Por ejemplo, una idea que está muy arriagada se refiere a la idea de que el cambio de los organismos se debe a la necesidad. Los datos nos muestran que sólo en determinados contextos (o problemas que plantea el cuestionario), se acepta que la variación de los individuos se debe a procesos que no tienen que ver con una adaptación posterior. Esto significa que los estudiantes reinterpretan sus conceptos o hacen modificaciones menores a su teoría, de acuerdo con planteamientos que consideran válidos, aunque en otra situación se contradigan (tal es el caso de los resultados de la primera parte del cuestionario).

También se observa, sobre todo en semestres avanzados de la carrera, que los alumnos aceptan en mayor proporción, las explicaciones darwinistas o neodarwinistas, lo que indica que fueron capaces de cambiar sus presupuestos centrales y aceptar una teoría alternativa, en este caso, la evolucionista.

Ahora bien, ¿qué condiciones determinan estas diferentes respuestas?

Chinn & Brewer (1993) plantean que las características del conocimiento previo constituyen un factor importante. Una de dichas características se refiere al denominado *atrincheramiento*, que se refiere al hecho de que una teoría contenga una o más creencias entrelazadas, que cuente con mucho soporte de evidencias y que ofrezca explicaciones en varios dominios. Además, de que la teoría pueda satisfacer metas

sociales. De esta manera, sólo si los datos anómalos se confrontan con mucho convencimiento podrán hacer que se abandone la teoría.

Las ideas de los estudiantes respecto al proceso evolutivo, en lo general, se caracterizan por contener muchas creencias entrelazadas, que van desde las religiosas, del sentido común, hasta malas interpretaciones de fenómenos biológicos vinculados al proceso evolutivo, como los mecanismos de la herencia, entre otros, lo que las hace muy difíciles de modificar.

Otra característica del conocimiento previo se refiere a las creencias ontológicas individuales que son empleadas para apoyar ideas que están relacionadas con varios dominios o subdominios, o son muy remotas en la experiencia. Esto las hace muy difíciles de cambiar. Las ideas evolutivas de los estudiantes, como se ha señalado, están vinculadas con varios dominios; y contienen explicaciones funcionales o contextuales, así como explicaciones históricas o evolutivas. De esta manera, les cuesta trabajo diferenciar entre lo que se ha denominado causas próximas y causas últimas.

Otro aspecto está relacionado con los compromisos epistemológicos, considerados como creencias acerca de lo que es el conocimiento científico, que establecen normas sobre lo que se considera una "buena teoría", que son relativamente inmunes al cambio porque son usadas para soportar ideas de diferentes dominios. En la escuela pocas veces se analiza cómo las teorías científicas se han construido, lo que hace que los estudiantes tengan poca claridad respecto a cómo surgieron los conceptos que conforman la teoría de la selección natural y acerca de los criterios que se utilizaron para validar este tipo de explicaciones.

El objeto de estudio de este trabajo es señalar que ayudando al estudiante a explicitar conocimiento metaconceptual sobre cómo la teoría de la selección natural se relaciona con sus evidencias, se podrá promover una mejor comprensión del evolucionismo.

El conocimiento previo que un individuo asume como válido, pero que no es parte específica de la teoría bajo evaluación, es fundamental, ya que dependiendo de su contenido, el conocimiento previo puede tener diferentes efectos en la respuesta del individuo ante los datos anómalos. Los sujetos pueden rechazarlos o reinterpretarlos si pueden acceder a conocimiento previo relevante.

Otro factor importante que interviene en la respuesta de los alumnos ante las anomalías encontradas son las características de la nueva teoría. Diversos autores señalan que la disponibilidad de una teoría alternativa creíble y plausible favorece la aceptación de nuevas explicaciones. Los estudiantes responden preservando los datos anómalos si no cuentan con un mecanismo plausible que de cuenta de ellos.

En la escuela, los estudiantes cuentan con una teoría alternativa, la de la selección natural, el asunto es que dicha teoría es muy compleja y su enseñanza está mediada por la interpretación y conocimiento del profesor, quien sería, en gran medida, el responsable de hacerla creíble o plausible. Por ello, es importante que los profesores estén adecuadamente formados y cuenten con enfoques didácticos que aborden de manera integral este proceso.

La calidad y la inteligibilidad de la teoría alternativa constituyen otros factores que determinan las respuestas ante anomalías encontradas. Que sea inteligible significa que la teoría debe ser comprensible. Si el estudiante no tiene una buena comprensión de la nueva teoría, no será capaz de entender el significado de los datos anómalos.

En suma, cuando los alumnos encuentran anomalías (problemas que no pueden ser resueltos por medio de dichas concepciones) presentan diferentes tipos de respuestas. Pero, sólo son capaces de cambiar sus teorías y aceptar una teoría alternativa cuando consideran que la nueva información es accesible y que puede explicar las ideas previas y las nuevas. Siguiendo estos planteamientos, la gran resistencia por parte de los estudiantes para modificar sus concepciones erróneas sobre evolución puede explicarse si consideramos que la mayor parte de estas ideas, que su conjunto pueden considerarse como una "teoría de estilo lamarckiano" contienen varias creencias entrelazadas, desde científicas, de sentido común y religiosas, lo que le confiere un gran poder explicativo (aunque no sea válido desde el punto de vista científico). Además, ofrecen explicaciones en varios dominios.

La teoría alternativa, en este caso, la darwiniana, no se caracteriza por ser fácilmente comprensible; debido a que maneja niveles distintos de análisis (que van desde los moleculares, hasta los filogenéticos) lo que la hace una teoría compleja. Además, para que los datos anómalos sean creíbles para los estudiantes, es necesario que existan demostraciones, experimentos o vivencias que tengan referencia con el mundo real, o que sean perceptualmente obvias; en el contexto del aula, es muy complicado el diseño de estrategias didácticas que favorezcan este tipo de visión de la teoría de la selección natural. De esta manera, si el estudiante no tiene una buena comprensión de la nueva teoría, no tiene referencias en su mundo perceptual, y contextual, entonces le será muy difícil entender el significado de las anomalías encontradas, y, por tanto, modificar sus ideas previas.

2.2. EL ENFOQUE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO.

En este documento se ha señalado que existen algunas concepciones sobre el proceso evolutivo, compartidas por los estudiantes y por naturalistas previos y contemporáneos a Darwin, que actualmente no se consideran válidas desde el punto de vista científico ("adaptación perfecta", pensamiento tipológico, "influencia del uso y desuso", origen no azaroso de la variación, entre otras). Como se vio en el capítulo II, la dificultad en la comprensión de algunos de estos puntos, constituyeron momentos de crisis en la elaboración de la teoría de la selección natural. Como vimos, Darwin tuvo que reinterpretar o rechazar muchas de estas concepciones. (algunas que el mismo sostenía, fueron modificadas algún tiempo después). Esta transformación conceptual no fue nada trivial.

Laudan sostiene que el objetivo principal de la ciencia es plantear teorías que sean eficaces en la resolución de los problemas que los científicos consideran válidos (Laudan 1977, 1984). En este sentido, puede decirse que el principal problema que Darwin intentó resolver fue el dar cuenta de un mecanismo natural plausible que explicara la gran diversidad de los seres vivos que existen y han existido sobre la tierra. Este mecanismo debería ser una alternativa materialista a la concepción del diseño perfecto (que sostenía que la acción divina acomoda a los organismos y sus partes al ambiente). Es decir, una vez que abandonó la idea de que el mundo es estático y es diseñado y dirigido por Dios, su problema central fue plantear un mecanismo que substituyera al Creador (Ruiz y Ayala, 2002).

Hemos visto que cuando Darwin se incorpora como naturalista en el Beagle era partícipe de la tradición de investigación de la época -la teología natural-, entre cuyos más importantes representantes estaba Lyell. Darwin era un creacionista convencido, por lo que pensaba que esta concepción debería ser suficiente para entender los

fenómenos existentes. Por esta razón, es esta interpretación la que va a confrontar con la naturaleza. A su regreso de Inglaterra esta confrontación (entre la teología natural y sus observaciones del viaje) mostró un desajuste.

Darwin se enfocó al análisis de diversos tipos de problemas empíricos, conceptuales y anomalías que como tales no podían ser explicadas en el contexto de la teología natural. Por ejemplo, los patrones de distribución geográfica fueron uno de los aspectos que Darwin empezó a cuestionar. Pensó que más que ser el resultado del diseño perfecto (idea que sostenía la tradición dominante), estaban determinados por los tipos de locomoción y dispersión de los organismos. Otro punto que Darwin pone en duda muy pronto es la explicación de la extinción. En el viaje del Beagle hizo observaciones que no eran explicadas por la teología natural.³

Darwin pensó que estos y otros aspectos se comprenderían mejor si se considera que las especies se transforman en el tiempo. Entonces, se propone construir una explicación más satisfactoria.

De esta manera, Darwin transformó varios de los elementos centrales que sostenía la teología natural; el más importante fue dar la posibilidad de cambio a los organismos. Fue así como superó su primera crisis. En el caso de los estudiantes, aceptan la idea de la transformación de las especies, el problema radica en la dificultad para comprender los mecanismos para explicar cómo se produce dicho cambio.

Aún cuando Darwin rechazó muy pronto el fijismo, en otros aspectos mantenía explicaciones dadas por la teología natural. Por ejemplo, el pensamiento primitivo de

³ Lyell sostenía que la extinción de las especies estaba determinada por cambios en las circunstancias locales que provocaba una inadaptación de las especies afectadas puesto que fueron diseñadas para una adaptación precisa para ese medio; otra explicación se basa en la exclusión competitiva, que supone la

Darwin era de carácter teleológico. Aún creía que Dios había establecido las leyes que gobiernan la reproducción para mantener a las especies en estado de adaptación perfecta a su ambiente. Al inicio pensó que las variaciones eran automáticamente adaptativas. Al considerar la lucha por la existencia empezó a vislumbrar que un ambiente alterado perturba el desarrollo para producir variación no dirigida. Pero incluso entonces, continuó aceptando que la reproducción sexual era el modo en que el Creador garantizaba que la materia prima para la evolución adaptativa estuviera disponible siempre que se requiera.

También, sobre la base de planteamientos de la teología natural, Darwin construyó nuevas explicaciones. Por ejemplo, extendió la metodología de Lyell para explicar los cambios sucedidos en el pasado en términos de causas observables, en campos que el propio Lyell había excluido. Donde Lyell excluyó la teoría transformista de Lamarck, Darwin aceptó la idea básica de evolución e investigó sobre un mecanismo alternativo. La interpretación de lo encontrado en las Galápagos fue fundamental. La primera mención que hace sobre la transmutación de las especies ("Cuaderno Rojo") coincide con el anuncio de Gould de que los sinsontes de las Galápagos son especies distintas. En este sentido, Darwin interpretó que las semejanzas entre las especies descubiertas por él en las Galápagos y en Sudamérica eran tan próximas que debían implicar una ascendencia común. De la misma manera, la relación entre el ñandú común y la nueva especie descubierta por él, era la misma que existía entre la extinta *Macrauchenia* y la llama moderna. En ese momento pensó que las especies podían surgir en una especie de salto. Así mismo contempló la posibilidad de que las especies, como los individuos, nacían con un alcance vital fijado por lo que necesariamente debería declinar hacia la extinción.

extinción de una especie más débil en comparación de una que compete por los mismos recursos

En otros aspectos Darwin hizo una ruptura radical con respecto a sus contemporáneos. Asumió que las especies nuevas sólo aparecerían cuando alguna parte de las poblaciones viejas se aislaran geográficamente. Con las Galápagos en mente, concibió que esto supondría un modelo arborescente de evolución. Este modelo tendría la capacidad de explicar las agrupaciones sobre las que se basa la clasificación biológica. Especies semejantes presentan un ancestro común, donde no se encuentra un nexo claro todavía vivo, se puede suponer que estas especies intermedias se han extinguido. Sin embargo, Darwin rechaza la pretensión de reconstruir la historia de la vida en la tierra; el conocimiento del proceso de evolución adaptativa ayuda a comprender las relaciones que existen entre las formas vivas y las fósiles, pero es imposible reconstruir la ascendencia ancestral de las especies modernas. Bowler (1995) señala:

"La evolución nos ayuda a comprender la naturaleza de la vida sobre la tierra durante su pasado - pero sólo en el sentido de que ilumina el proceso general que ha dado lugar a las especies concretas que vemos hoy" (Bowler, 1995, pág. 100).

Cuando Darwin decide investigar acerca del mecanismo del cambio orgánico, el Cuaderno C se enfoca hacia el trabajo de los criadores de animales con la esperanza de que esto arrojará luz sobre el problema. Sin embargo, aún cuando él mismo Darwin plantea que es conducido a la idea de selección natural observando la actividad de los criadores de animales, los Cuadernos revelan que la selección artificial no proporcionó la intuición crucial. Al principio estudió el trabajo de los criadores buscando pistas, pero sin aceptar que hubiera una conexión directa entre la producción de variedades domésticas y la transformación de las especies en la naturaleza (Bowler, 1995).

Hacia septiembre de 1838 Darwin empieza hablar de Malthus y su "Principio de las poblaciones" en su Cuaderno D. Pero es hasta el Cuaderno E donde Darwin sostiene que la presión constante creada por la tendencia hacia la expansión de la población debe entrañar la lucha entre los individuos de una misma especie. Entonces, el mecanismo de

la selección natural comienza a tomar forma. Darwin constató que el azar o la variación no dirigida, fuente de selección de los criadores, debe existir también en la naturaleza. Dada la lucha por la existencia, los individuos que mostraran un carácter adaptado a las nuevas condiciones tendrían mejor oportunidad de sobrevivir y de transmitir sus características a generaciones futuras, es decir, que existe una adaptación diferencial dentro de las poblaciones. A partir de estas ideas se constituiría el mecanismo de la selección natural, que substituiría a la influencia del Creador. De esta manera, habría resuelto el problema que se había planteado a su regreso del viaje del Beagle.

Es importante señalar que en todo este proceso, Darwin no tuvo una experiencia "eureka" que lo convirtiera al evolucionismo o alguna con la cual concibiera repentinamente el mecanismo de la selección natural. La transformación de sus ideas siguió un proceso de desarrollo continuo, pasando por fases de ensayo de diferentes concepciones, que tuvo que modificar y en algunos casos abandonar, cuando amplió el campo de sus pensamientos. En el desarrollo de su razonamiento intervinieron factores científicos y no científicos. Se puede decir que la selección natural no es el resultado de una simple inducción a partir de los hechos observados, ni el reflejo del carácter competitivo del capitalismo victoriano. Darwin se vio afectado por un cúmulo de influencias, tuvo la capacidad de sintetizarlas, planteando un modelo explicativo único sobre el origen de las especies.

Bowler (1995) considera que el uniformitarismo de Lyell influyó decisivamente en su pensamiento sobre las especies. La coordinación por parte de Darwin en el proceso de descripción y clasificación de los especímenes del Beagle está estrechamente vinculada con la adopción de la hipótesis transmutacionista. El ornitólogo John Gould, le aclaró que los pinzones de las Galápagos eran especies distintas pero

estrechamente relacionadas, esto incrementó sus dudas hacia el creacionismo. Su colaboración con Owen sobre los fósiles incidió directamente en sus pensamientos sobre la relación de las especies en el tiempo. Estos y otros contactos profesionales se vieron complementados por un amplio programa de lecturas (leía sistemáticamente sobre las áreas de la biología que podían incidir en su investigación, sobre economía política y otras materias que podían dar luz acerca de los orígenes de las características humanas) y por el recurso directo a los criadores de animales.

Sin embargo, es evidente que pese a su búsqueda de información se dirigió gradualmente a una posición que era únicamente suya. Utilizó recursos científicos y culturales para generar una teoría que iba mucho más allá de lo que podían suponer sus contemporáneos. Esto significó una revolución conceptual y el origen de una nueva tradición de investigación –el evolucionismo– que constituye el marco conceptual y metodológico fundamental de la Biología moderna.

El punto ahora es cómo suponer que las concepciones evolutivas de los estudiantes pueden ser fácilmente modificadas, si parten de ideas que eran dominantes en tiempos de Darwin, y, como vimos, su transformación implicó una revolución conceptual, que abarcó no sólo el cambio en la visión de los seres vivos y los procesos naturales, sino también de la posición de la especie humana dentro de la naturaleza.

Como vimos, Darwin tenía una sólida formación en geología; conocía las principales explicaciones sobre el origen de la tierra que eran discutidas en su época. Esto le permitió tener una idea del "tiempo geológico", necesario para concebir la evolución de las especies. Este hecho es importante porque los trabajos con estudiantes revelan que uno de los problemas para comprender el concepto de evolución tiene que ver con la dificultad para entender las diferentes escalas de tiempo. Es claro que será difícil

comprender el cambio de las especies si se parte de una concepción ecológica y no geológica del tiempo.

Otro aspecto importante para el planteamiento de la teoría fue el reconocimiento por parte de Darwin de que las variaciones no son en sí mismas adaptativas; noción que diferencia a Darwin del concepto de adaptación de Lamarck y de los estudiantes; ya que esto es lo que permite entender a la evolución como un fenómeno contingente (que pudo haber tenido lugar o no). De esta manera, una misma variación puede ser favorable en un ambiente, perjudicial en otro, o incluso, ser adaptativamente neutra. Esta idea constituye uno de los pilares de la teoría de la selección natural. Algunos estudiantes, aún en el nivel superior, siguen pensando que el cambio es por necesidad, lo que obviamente tiene grandes implicaciones en su visión global de la evolución de las especies.

El pensamiento poblacional en el estudio de los seres vivos es fundamental para entender la idea de la adaptación diferencial y de la acción de la selección natural, fue una innovación conceptual aportada por Darwin, que no sólo repercutió en las explicaciones evolutivas sino que ha sido una herramienta teórico-conceptual importante para el desarrollo de la biología. Algunos estudiantes, no entienden claramente el significado que tiene el concepto de población y sus implicaciones en la teoría de la selección natural, y esto obviamente dificulta la comprensión de las ideas centrales del evolucionismo contemporáneo.

"La herencia de los caracteres adquiridos" o "el uso y desuso de las partes", que sostenía Lamarck e incluso el mismo Darwin, fueron concepciones aceptadas durante varios siglos, y, de acuerdo con los criterios de validación de su tiempo, no requerían de ningún tipo de comprobación. Fue hasta principios del siglo XX que Weissman realizó experimentos con los que se empezó a descartar la "herencia de los caracteres

adquiridos" (punto que culminó con el planteamiento del dogma central de la biología molecular). En ese momento la biología contaba con un marco conceptual y metodológico distinto, que permitió la puesta en duda de estos planteamientos, ya que no ofrecían explicaciones satisfactorias sobre el origen de la variación de los seres vivos; aspecto que era muy importante porque estaban en pugna los mecanismos de evolución planteados por Darwin (Ver Capítulo II).

En suma, es fundamental que en la escuela se considere que la teoría de la selección natural planteada por Carlos Darwin constituyó, en muchos sentidos, una revolución científica; revolucionó muchas de las concepciones que se tenían sobre los seres vivos, además de que transformó la visión de la especie humana dentro de la naturaleza. Darwin tuvo que reinterpretar y conectar hechos, que antes no estaban relacionados, además de confrontar muchas explicaciones para encontrar una nueva lógica para comprender el origen y transformación de las especies. Esto, como hemos visto, además de su propia genialidad, fue resultado de la vinculación de muchos factores tanto científicos como no científicos, que le permitieron ofrecer una interpretación radicalmente nueva sobre los seres vivos. En este sentido, es totalmente entendible que para los estudiantes sea difícil comprender el cambio y los mecanismos de evolución de las especies, cuando los conceptos previos que manejan, representaron un obstáculo epistemológico en la construcción de la teoría y por tanto, no son fáciles de comprender por parte de los estudiantes ya que nos son suficientemente analizados, además de que no siempre se encuentran en un contexto de aprendizaje que favorezca su transformación.

Cómo esperar que modifiquen sus ideas previas en un contexto que no siempre promueve la reflexión crítica de las teorías, donde las explicaciones científicas se plantean como resultados exitosos y no como problemas que fueron resueltos

utilizando diversos enfoques metodológicos propios de la ciencia, donde muchas veces conducen a callejones sin salida.

Esto no quiere decir que deba ponerse a los estudiantes en las situaciones en las que estuvo Darwin (sería absurdo y sin sentido). Tampoco debe suponerse que los alumnos pueden abordar los problemas como lo hizo Darwin, para ello requieren de un largo proceso de formación que les permita plantear, abordar y resolver un problema de investigación, lo que finalmente los hace científicos. Debemos estar claros que los alumnos de secundaria, bachillerato y licenciatura no son científicos, ni pueden hacer ciencia en la escuela. Como hemos visto, la ciencia es una actividad humana que ha establecido su propia racionalidad e intenciones, y ha definido criterios para proponer y validar sus explicaciones, los cuales son distintos de los del aprendizaje escolar. La intención de la escuela debe ser que los estudiantes comprendan dichas explicaciones y que entiendan la naturaleza de su construcción.

Esto requiere un enorme esfuerzo que contemple al proceso educativo de manera integral, es decir, que tome en cuenta las dimensiones disciplinarias, psicopedagógicas e histórico-epistemológicas, de tal manera que puedan determinarse los conceptos, concepciones y enfoques didácticos necesarios para que los alumnos comprendan de mejor maneras las teorías científicas, y en este caso la evolucionista.

El asunto entonces, está íntimamente vinculado a un proceso didáctico ¿cómo lograr que los estudiantes comprendan la teoría de la selección natural de una manera más adecuada?. Es decir, cómo lograr que los estudiantes aprendan el lenguaje de la teoría evolucionista, en qué forma pueden considerarse los momentos de crisis que tuvieron lugar y la manera cómo fueron resueltos para lograr la construcción de la teoría de la selección natural. En el siguiente capítulo abordaremos algunos de estos aspectos.

CAPÍTULO VI.

CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS PARA ABORDAR LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL.

1. INTRODUCCIÓN.

En los capítulos anteriores analizamos las concepciones que los estudiantes tienen sobre el proceso de evolución de las especies. Encontramos que estudiantes de secundaria hasta la universidad mantienen concepciones que no son válidas para el evolucionismo contemporáneo.

Ante esta problemática se ha generado un gran número de discusiones sobre como abordar esta disciplina desde el punto de vista didáctico. Se discute, por ejemplo, cuándo y cómo deben enseñarse los conceptos y teorías evolutivas por primera vez o cuales son las estrategias más adecuadas para abordarlo. Algunos autores sostienen que es más conveniente introducir estos temas en el nivel medio superior, debido a que hasta entonces, los estudiantes tienen el desarrollo cognitivo adecuado para asimilar una teoría tan abstracta y compleja como la evolutiva. Por otro lado, se dice, que en lugar de postergar el tema, es necesario mejorar las estrategias didácticas para impartirlo más satisfactoriamente, es decir, que el problema no radica en la capacidad de los estudiantes para entender la teoría, sino en las estrategias utilizadas para enseñarla. En este sentido, Guillén (1997) sostiene que es importante diferenciar entre la definición de temas para el curriculum, de las estrategias de enseñanza: en un caso se habla de la elección de conceptos, y en el otro, de la elección de actividades con un componente significativo.

En el nivel licenciatura, a pesar de que los alumnos tienen la capacidad de cognitiva para comprender la teoría de la selección natural, numerosos trabajos han reportado

que también mantienen concepciones que no son válidas para el evolucionismo contemporáneo. Los resultados obtenidos en el trabajo de campo nos muestran que persisten concepciones no aceptadas desde el punto de vista científico, sobre todo en los primeros semestres de la carrera.

El asunto, entonces, no es trivial.

La literatura y la experiencia nos muestra que son muchos los factores que intervienen en la persistencia de las concepciones alternativas de los estudiantes respecto al evolucionismo. Entre ellas, obviamente están las estrategias didácticas empleadas, el conocimiento del tema por parte de los profesores; las preconcepciones de los estudiantes y de los docentes, la complejidad conceptual de la teoría, las condiciones de estudio, etc. Aún cuando habría que estudiar las estrategias didácticas que se emplean para enseñar evolución en diferentes niveles educativos, entre ellos el superior, un aspecto importante a considerar es que las deficiencias en la enseñanza del evolucionismo, pueden partir también de una inadecuada comprensión del evolucionismo por parte de los profesores, debido a la complejidad de la disciplina, la falta de formación o de espacios de discusión epistemológica, entre muchos otros aspectos.

Estas consideraciones nos muestran que la definición de qué y cómo enseñar evolución en cualquier nivel educativo es un asunto complejo. El qué enseñar implica tener un conocimiento sólido de los conceptos, principios, teorías que conforman la estructura teórico-metodológica de una disciplina; implica conocer cómo se ha construido dicha estructura conceptual; cuáles son sus problemas rectores; cuáles son los enfoques metodológicos que se han generado para abordar su objeto de estudio y cuáles han sido sus criterios de validación. El problema, entonces, es generar enfoques de

enseñanza que consideren los distintos aspectos que intervienen en el proceso educativo, que incluyen consideraciones de tipo cognoscitivo y pedagógico, así como de carácter disciplinario, donde se tenga un conocimiento significativo acerca de la estructura conceptual y metodológica de la teoría en cuestión, y de las condiciones que han tenido lugar en su proceso histórico de construcción. Con este enfoque podrá abordarse de manera más integral el proceso de enseñanza y aprendizaje de la ciencia en general y del evolucionismo en particular.

Entonces, el cómo enseñar debe tomar como punto de partida las características conceptuales, metodológicas e históricas del contenido de enseñanza que se va analizar; las capacidades cognoscitivas de los aprendices; sus concepciones previas; las condiciones en las que se da el proceso de enseñanza-aprendizaje, el contexto del aula; la formación de los profesores, etc.

Esto nos muestra que la definición de los contenidos y estrategias de enseñanza de evolucionismo a nivel licenciatura, y obviamente en otros niveles educativos, es una tarea colectiva. Se requieren de expertos en la disciplina, de pedagogos, filósofos e historiadores. Todos ellos tendrían algo que aportar para determinar los enfoques didácticos que deben utilizarse para mejorar la comprensión de la teoría más general e integradora de la biología actual.

Tomando en cuenta los planteamientos anteriores, para abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la teoría de la selección natural desde un punto de vista didáctico, se plantea la consideración de los siguientes criterios, que aún cuando están estrechamente relacionados, se diferencian por cuestiones analíticas:

- **CRITERIO DISCIPLINARIO.**- debe definir la estructura teórico-metodológica de la disciplina; las teorías, los conceptos y los métodos desarrollados para abordar su objeto de estudio, que permitan determinar los conceptos y teorías que deben enseñarse sobre la disciplina;

- **CRITERIO PSICOPEDAGÓGICO.**- debe tomar en cuenta el desarrollo cognitivo de los estudiantes, el estudio de sus ideas previas, las características de la construcción de conocimiento escolar, etc.;

- **CRITERIO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO.**- debe definir los problemas rectores, los métodos para resolver problemas y evaluar teorías, la construcción histórica de la estructura conceptual de la disciplina, etc.

Con base en lo anterior se señalan a continuación los aspectos que deben tomarse en cuenta para abordar la teoría de la selección natural desde un punto de vista didáctico. En primer lugar se mencionan algunas consideraciones generales sobre cada uno de los criterios señalados. Posteriormente, se plantea una estrategia general que engloba todos estos aspectos.

Aunque estos planteamientos pueden servir para cualquier nivel educativo es necesario remarcar que nos enfocamos en el nivel licenciatura. También es necesario precisar que dados los objetivos de la presente investigación, se enfatiza en el criterio histórico-epistemológico.

2. CRITERIO DISCIPLINARIO.

Hemos visto que el evolucionismo es un amplio programa de investigación, conformado por un centro firme que plantea que la evolución implica dos procesos fundamentales: uno azaroso -la producción de variación- y uno determinístico -la selección adaptadora-; otro punto importante es que la evolución tiene una naturaleza dual: adaptación al interior de la especie y diversificación a todos los niveles taxonómicos a partir del proceso de especiación. Este programa de investigación también está formado por un conjunto de teorías auxiliares que explican aspectos particulares del proceso y que abarcan objetos de estudio derivados de varios campos de conocimiento, como son la biología molecular, la genética, la ecología, la paleontología, etc. Algunos aspectos del programa de investigación han sido puestos en duda como la gradualidad del proceso o la neutralidad de las variaciones, pero el núcleo duro sigue manteniéndose.

Aun cuando es necesario hacer un análisis más detallado, podemos plantear algunos aspectos que deben tomarse en cuenta para definir el contenido de enseñanza en los distintos niveles escolares:

En secundaria sería importante centrar los contenidos en el centro firme del programa de investigación, y ofrecer información sobre aspectos fundamentales que permitan comprenderlo, como son: el origen y mantenimiento de la variación, el pensamiento poblacional, el tiempo geológico, etc.

En el nivel medio superior, el contenido debe concentrarse en el análisis de los conceptos y teorías que son consideradas válidas actualmente; antecedentes como el lamarckismo deben utilizarse como vía de reflexión de las concepciones de los estudiantes y como un medio para explicar como se generaron las explicaciones aceptados por los científicos. Las polémicas en torno a la teoría sintética debe analizarse pero no deben constituir el objetivo central de este nivel, ya que es fundamental que comprendan los planteamientos centrales del evolucionismo contemporáneo.

En el nivel superior, dado que tiene como intención, ofrecer una sólida cultura biológica, así como aportar elementos que permitan una adecuada práctica profesional, de investigación y de docencia de los futuros biólogos; y debido a la importancia del evolucionismo, como la disciplina más integradora de la Biología actual, es necesario

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

que los estudiantes tengan una panorámica amplia e integral de las distintas explicaciones que se han dado acerca de la evolución de los seres vivos. Por ello, es pertinente analizar con un buen nivel de profundidad las diferentes teorías que se han generado en este sentido:

❖ La teoría lamarckiana que constituye la primera teoría coherente para dar cuenta del cambio evolutivo.

❖ La teoría darwiniana que plantea a la selección natural como principal mecanismo evolutivo, estableciendo el programa de investigación que ha seguido creciendo conformando de esta manera la teoría moderna de la evolución.

❖ Un primer intento de síntesis de la teoría darwiniana y la genética planteado por Fisher, Wright y Haldane.

❖ La teoría sintética o neodarwinista que integra los avances de la genética de poblaciones, paleontología, sistemática, etc. a la teoría de la evolución planteada por Darwin, y

❖ Aunque no con la categoría de una nueva teoría general de la evolución, es importante considerar las críticas a la teoría neodarwinista enfocadas a la evolución molecular y la macroevolución, entre otros aspectos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el capítulo II se han señalado algunos aspectos sobre la estructura conceptual de cada una de estas teorías; obviamente, el análisis presentado es muy general, al que todavía hay que hacerle un sin fin de precisiones. Pero, es importante señalar algunos criterios que deben ser considerados para definir los contenidos evolutivos a nivel licenciatura.

❖ Es importante definir los aspectos centrales de cada una de las teorías, de tal manera que se muestren los conceptos rectores y las estrategias para llegar a ellos (esta elección debe ayudar a no saturar de información a los estudiantes).

❖ Es necesario tomar en cuenta que aun en este nivel educativo los alumnos tienen problemas para entender el papel del azar, el concepto de adaptación diferencial, el pensamiento poblacional, el origen espontáneo y sin dirección de las variaciones, o que se les dificulta pensar en tiempos geológicos, aspectos que constituyen el núcleo duro de este programa de investigación, que si no es comprendido adecuadamente reforzará en los estudiantes concepciones erróneas sobre el proceso evolutivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dado que los futuros biólogos deben comprender con profundidad lo que es válido actualmente,

❖ La teoría de Lamarck debe ayudar a encontrar los puntos de partida que comparten los estudiantes y el mismo Lamarck, que fueron refutados con los planteamientos posteriores, como los de Darwin o los evolucionistas posteriores a él.

❖ Las teorías como la de Darwin, deben servir como fuente de reflexión acerca de la construcción teórico-metodológica de las principales teorías y conceptos que conforman el evolucionismo actual.

❖ Habría que mostrar que las polémicas en torno a los mecanismos evolutivos que se han estado generando, no constituyen una teoría general alternativa de la evolución, sino en algunos casos, un intento de precisar algunos conceptos, y en otros, el planteamiento de nuevos enfoques de análisis de aspectos particulares del proceso evolutivo.

❖ Habría que dejar claro a los estudiantes cual es el núcleo central que conforma a la disciplina y cuáles son las teorías que lo apoyan y cuáles no.

Finalmente, es necesario insistir que el abordaje didáctico del evolucionismo debe verse de manera integrada. En el siguiente punto señalaremos algunas consideraciones de tipo psico-pedagógico que deben tomarse en cuenta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. CRITERIO PSICOPEDAGÓGICO.

Desde la perspectiva de la llamada "Teoría sociocultural del desarrollo y el aprendizaje", la interacción social juega un papel relevante en el aprendizaje escolar, ya que promueve y estimula la actividad cognitiva, y puede provocar la reestructuración del conocimiento de los estudiantes. La idea de que el conflicto interpersonal está en la base del desarrollo cognitivo ha sido planteada por algunos autores. En términos de Piaget, el conflicto sirve para describir el proceso de interacción social que genera progreso cognitivo y que generalmente se hace operacional a través de la expresión libre (verbal y no verbal) de perspectivas diferentes. En este sentido, el proceso de aprendizaje se entiende como un proceso de interacción en el que la comunicación entre los participantes es crucial, ya que sin comunicación no puede haber conflicto, desacuerdo o acuerdo, negociación o resolución. Una vez que se tiene la capacidad de reconocer el conflicto cognitivo que surge de la presentación de diferentes posiciones, no es posible ignorar la contradicción. Así, la reestructuración cognitiva es inevitable. Este proceso, entonces, facilita el desarrollo cognitivo, pero es necesario que el aprendiz esté preparado y pueda apreciar y capitalizar el conflicto (Garton, 1994).

En este mismo sentido, la teoría de Vigotsky parte del principio fundamental de que el desarrollo cognitivo no tiene lugar en forma aislada. La actividad cognitiva de los aprendices debe ubicarse en su contexto social y cultural, ya que el desarrollo de la cognición y el lenguaje no puede explicarse ni comprenderse si no se consideran estos contextos (Garton, 1994).

El funcionamiento mediado, para Vigotsky, se refiere al uso de signos, como el lenguaje, para facilitar la resolución de problemas. Generalmente se caracteriza por "ayudas" concretas para la resolución de un problema, hasta métodos más abstractos, como la utilización del lenguaje. Estas técnicas de mediación facilitan el pensamiento dirigido

hacia metas, lo que posibilita la planificación, el control y el logro en la resolución de problemas. Para Vigotsky el mecanismo central para el aprendizaje es la interacción en colaboración, supone que la interacción social implica crear, establecer y mantener definiciones de los roles y la tarea a realizar, para el beneficio mutuo de los participantes. Al igual que los estudios del conflicto sociocognitivo, los participantes inicialmente tienen un *status* cognitivo desigual y el objetivo es llegar a un consenso. A diferencia de los estudios sociocognitivos, señala Garton (1994), el logro se da a través de un proceso de instrucción. Se alienta y facilita un espíritu de colaboración a través del uso del lenguaje, ya que este cumple una serie de funciones y encierra el contenido de la interacción. La interacción, entonces, implica cooperación y ayuda, de manera particular en beneficio del estudiante.

En este mismo sentido, menciona Garton (1994) el concepto clave de las investigaciones sobre interacción social basadas en el trabajo de Piaget, es el *conflicto* o conflicto socio-cognitivo. El conflicto como proceso de interacción implica negociación y resolución, ambos indicadores de progreso cognitivo. La interacción estimula el debate y el conflicto, el cual se fundamenta y mantiene en la comunicación. De esta manera, comunicarse con éxito significa negociar una base común para alcanzar una tarea. De las investigaciones inspiradas en Vigotsky proviene el término *colaboración* como forma de describir el proceso de interacción y comunicación, *instrucción y aprendizaje*.

De manera sintética se puede plantear que la interacción social facilita el desarrollo cognitivo porque ofrece la posibilidad de discutir. La comunicación, según Garton, caracteriza un *continuum* de colaboración, y se puede postular que el conflicto es un extremo de este *continuum*. El conflicto puede verse como una forma de colaboración caracterizada por el desacuerdo y la argumentación y no por el acuerdo y la cooperación.

En un intento por sintetizar estos enfoques Garton (1994) señala que para facilitar la cognición es crucial identificar mecanismos comunes de mediación. El principal mecanismo de mediación es, en su opinión, la comunicación. Concretamente el lenguaje ya que intensifica la participación en los intercambios sociales; permite que el sujeto haga su contribución a la interacción social; y, como comunicación, facilita el desarrollo cognitivo y posibilita la solución satisfactoria de problemas, especialmente cuando se realiza con otras personas. La interacción social, sostiene, es necesariamente un encuentro entre mentes, un contexto en el que los aprendices no sólo aprenden el lenguaje de su comunidad, sino también los significados asociados a las acciones y los acontecimientos. La transmisión dependerá de los objetivos de la misma, de los requisitos de aprendizaje del estudiante, los estados de conocimiento e ignorancia, y de la negociación de una base común mutuamente aceptable.

Según Carretero y Limón (1997), los modelos de cambio conceptual han contestado de diversas maneras a la pregunta de cómo se lleva a cabo este proceso. Con frecuencia se señala que la presentación de datos contradictorios o anómalos que provoque el conflicto cognitivo es una fase importante, pero no es condición suficiente, además existen diversas estrategias didácticas basadas en lo que se sabe del conocimiento previo. No obstante, si existen algunas conclusiones claras que pueden extraerse:

El cambio conceptual es un proceso muy costoso y difícil que exige tiempo, esto se debe a que los seres humanos poseemos una alta resistencia a modificar nuestras concepciones iniciales, por ello:

Es importante que el profesor analice las ideas de los alumnos;

Que plantee situaciones contradictorias desde el punto de vista teórico y práctico;

Que logre que el alumno elabore nuevas ideas; y finalmente,

Que exponga los conocimientos disciplinarios de manera sistemática.

Sin embargo, ante el problema de la falta de tiempo para abordar estas consideraciones en el aula, otra opción es la reducción de temas en los contenidos escolares. Para ello, es importante tomar en cuenta las consideraciones planteadas en este trabajo, en el sentido de que la historia y la epistemología de la ciencia pueden ayudar a determinar criterios que permitan definir los conceptos rectores que determinan la estructura de la disciplina.

Para promover que el alumno realice aprendizajes significativos, es decir, que no memorice la información nueva, sino que la comprenda, es razonable hablar de niveles de comprensión, en lugar de comprensión en términos absolutos. Tal vez no es necesario ni adecuado que los estudiantes comprendan cabalmente todos los contenidos escolares, sino que es más apropiado seleccionar algunos que deben ser comprendidos de manera profunda.

Por otra parte es importante señalar que la vía de la construcción es sólo una de las que conducen a aprender, por lo que no deben excluirse otras formas que pueden adecuarse a los objetivos de aprendizaje que se persiguen y al tipo de contenidos a aprender.

4. CRITERIO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO.

En el primer capítulo de este trabajo se señalaron algunas consideraciones sobre como la historia y la epistemología de la ciencia pueden ser empleadas en el contexto de la educación. Sin embargo, un aspecto que es importante señalar es que la reconstrucción histórica de una disciplina puede ser abordada desde distintos enfoques teóricos y metodológicos, ya que no existe un modelo único sobre cómo se desarrolla la ciencia. Las actividades científicas tienen tal complejidad, que la reciente literatura generada en el campo de la epistemología de la ciencia, concebida como el estudio de la naturaleza

del conocimiento científico y de las formas como éste se adquiere, no ha llegado a plantear una concepción única.

A pesar de que la elaboración de un modelo único sobre cómo se construye el conocimiento científico no es una tarea fácil, ni posible, tal vez: existen algunos consensos importantes que los profesores deben conocer.

En la actualidad se piensa que la ciencia busca la organización sistemática del conocimiento acerca del mundo, pretende formular teorías que expliquen las relaciones que existen entre diferentes clases de fenómenos, procura explicar por qué los hechos ocurren de cierta manera y bajo ciertas condiciones. Puede reelaborar problemas viejos, pero su intención principal es generar conocimiento nuevo acerca del universo.

La ciencia, como toda actividad humana, esta influida por una serie de aspectos que intervienen en su estructura y su desarrollo social; sin embargo, una de sus características esenciales es que ha construido una forma de racionalidad que le ha permitido explicar con éxito una gran diversidad de fenómenos naturales y ha generado innumerables avances tecnológicos. Otro aspecto importante es que siempre parte de conocimientos previos. Las explicaciones científicas no se inician cada vez con una nueva generación de practicantes, ni con científicos individuales. Siempre se elaboran nuevos conocimientos sobre la base del conocimiento que ha sido elaborado en etapas previas de su desarrollo histórico.

A pesar de que existen diversos enfoques acerca de como se produce el cambio científico, de como se rechaza una teoría vigente y se aceptan nuevas ideas en ciencia, parece que hay acuerdo en considerar que este proceso implica la confrontación de teorías sobre bases empíricas o conceptuales con otras teorías en competencia, o la

transformación de unidades teóricas más amplias, como las tradiciones científicas o las disciplinas. Además, puede señalarse que existe una cierta resistencia por parte de los científicos para rechazar una teoría científica, si antes no ha sido formulada otra que de cuenta de los fenómenos explicados por la teoría preexistente. El avance científico, generalmente ocurre no sólo por el reemplazo de una teoría errónea por una correcta, sino también por el reemplazo de una teoría correcta por una más extensa o inclusiva.

Otro aspecto fundamental de la ciencia es su carácter social. La actividad científica no opera en una especie de vacío cultural, ni puede desarraigarse de su contexto social. Sin embargo algo discutible es si la dimensión social de la ciencia influye en la propia forma y contenido del conocimiento científico. Es indudable que los científicos tienen compromisos con el sistema social donde trabajan y disponen de sistemas "autorreguladores" que les permiten mantener una cierta categoría. Todo planteamiento científico es filtrado por una serie de tamices (confrontación de resultados con otros científicos, revisión de publicaciones, etc.), así se llega a establecer el "conocimiento certificado" sobre el que la comunidad científica construye nuevas explicaciones. De esta manera, el conocimiento científico surge del acuerdo y el consenso de los científicos. Sin embargo, la racionalidad y los criterios de científicidad que se han establecido, posibilitan que los productos científicos no sean sólo una construcción social arbitraria, sino que implican una confrontación con el mundo real, que permite tener explicaciones de los fenómenos con un considerable grado de veracidad y confiabilidad (Oldroyd, 1993).

Con el propósito de que los profesores se introduzcan en el estudio de la epistemología e historia de la ciencia sería necesario que conozcan las aportaciones de algunos filósofos contemporáneos, con el objeto de que tengan una visión general sobre como se desarrolla la ciencia. Entre las más importantes se encuentran: Popper (1974; 1983)

quien hace una profunda crítica al inductivismo y establece una serie de normas para la demarcación del conocimiento científico. Lakatos (1978) que habla del desarrollo de programas de investigación, constituidos por un sistema de teorías. Kuhn (1982) que destaca el papel de los "anteojos conceptuales" o paradigmas en la orientación del trabajo científico; lo que pone de manifiesto el papel del marco emocional y conceptual del individuo en el reconocimiento y observación de los problemas científicos. Laudan (1977, 1984) quien destaca la importancia de explicar el desarrollo de las tradiciones científicas y de los problemas conceptuales en los estudios sobre filosofía de la ciencia. Y, finalmente Toulmin (1972) y Hull (1978, 1988), quienes se ubican dentro de la corriente de la *Epistemología Evolutiva*, que en lugar de concebir "revoluciones científicas" como Kuhn, plantean que hay un tipo de desarrollo gradual de transformación del conocimiento, que puede analogarse con la evolución de los seres vivos.

Para ejemplificar como un modelo historiográfico puede emplearse en el contexto de la educación, a continuación señalamos algunas consideraciones de T. Kuhn (1982; 1989; 1990) en este sentido.

4.1. KUHN Y LA FORMACIÓN DE LOS CIENTÍFICOS.

Kuhn (1982, 1989, 1990) en su modelo de cambio científico ha tomado muy cuenta el proceso de formación de los aprendices de ciencia.

Kuhn (1989) sostiene que en el desarrollo de la investigación científica, la ciencia normal, es la que produce continuamente "los ladrillos que se añaden al creciente edificio del conocimiento científico". Sin embargo, el desarrollo de la ciencia manifiesta también una modalidad no acumulativa, la ciencia extraordinaria, y los

períodos que la exhiben aportan claves únicas sobre aspectos centrales del conocimiento científico. Los cambios revolucionarios son problemáticos debido a que se ponen en juego descubrimientos que no pueden explicarse utilizando los conceptos anteriores. Para realizar o asimilar un descubrimiento de este tipo, debe alterarse el modo en que se piensa y se describe un rango de fenómenos naturales. Estos cambios no incluyen únicamente transformaciones en las leyes de la naturaleza, sino también en los criterios por medio de los cuales algunos términos de dichas leyes se conectan con la naturaleza; además de que dichos criterios dependen en parte de la teoría con la que se introdujeron. Cuando el cambio de estos tipos de referentes acompaña a un cambio de teoría o de ley, el desarrollo científico no puede ser totalmente acumulativo: no se puede pasar de lo viejo a lo nuevo mediante la suma de lo ya conocido, ni tampoco se puede describir completamente en el vocabulario de lo viejo y viceversa.

A partir del análisis histórico Kuhn plantea que existen características que unifican la naturaleza del cambio revolucionario, entre las más significativas están las siguientes:

❖ Todos los cambios son localmente holistas en el sentido de que requieren transformaciones simultáneas e interrelacionadas de la teoría (serían incoherentes si ocurrieran uno a uno). Estos cambios en contraste con los normales, no pueden hacerse poco a poco, paso a paso. En el cambio normal se revisa o se añade una generalización, pero las demás quedan igual. En el cambio revolucionario, o bien se vive en la incoherencia o bien se revisan al mismo tiempo varias generalizaciones interrelacionadas. Solo las generalizaciones iniciales y finales proveen una explicación coherente de la naturaleza.

❖ Todos los cambios revolucionarios requieren transformaciones en la manera como un conjunto de términos científicos se conecta con la naturaleza, dicho de otra manera, requieren cambios en la taxonomía del lenguaje científico que implican un cambio en la forma en que se determinan sus referentes. El lenguaje altera no solo los criterios con los que los términos se relacionan con la naturaleza, sino también el conjunto de objetos y situaciones con las que se relacionan estos términos.

❖ Todos los cambios están relacionados con la capacidad aprendida de los científicos de distinguir entre acontecimientos que son semejantes y los que no lo son. La pauta de semejanzas que hace ciertos fenómenos de una familia natural se sitúan en la misma categoría taxonómica, tiene que ser sustituida en el desarrollo de la ciencia (como el caso de la idea de evolución de la visión Lamarckiana a la darwiniana). El cambio revolucionario supone que la vieja pauta de semejanzas tiene que ser rechazada y reemplazada, antes del proceso de cambio o durante él. Así, adaptando a Kuhn a nuestro objeto de estudio, la educación de un evolucionista asocia cualquier característica de un ser vivo, con la aparición espontánea de una variación y de su sobrevivencia si confiere alguna ventaja adaptativa en un momento dado, ya que tales aspectos están planteadas en la concepción evolutiva de Darwin.

¹ En el caso de la construcción de la teoría evolutiva, vimos que al regreso del viaje del Beagle, Darwin rechaza el fijismo de las especies y encuentra diversas anomalías al paradigma de la Teología Natural. Sin una teoría satisfactoria, inicia un proceso de revisión de varias generalizaciones. Es hasta 1842 que tiene una explicación coherente de la evolución de las especies, cuando introduce a su teoría evolutiva, el concepto de selección natural y lucha por la existencia, entre otros aspectos.

² El planteamiento de la teoría de la selección natural, por ejemplo, contempló la intervención del azar en el proceso evolutivo, lo cual significó un cambio radical en torno a los patrones de explicación científica previos (ver Martínez, 2001), introdujo nuevos conceptos como el de la selección natural; otros adquirieron un nuevo significado en el contexto de la nueva teoría, tal es el caso del concepto de adaptación (se cambio de la idea de adaptación perfecta al de adaptación diferencial), lucha por la existencia, competencia, etc.

Con base en esta serie de consideraciones Kuhn (1989) plantea que los estudiantes de una disciplina deben aprender a la vez un grupo interrelacionado de conceptos -como un todo-, antes de que cualquiera de ellos pueda ser utilizado para describir los fenómenos naturales. Sólo hasta que dichos términos se aprenden así, se pueden reconocer las distintas ciencias por lo que fueron: disciplinas que diferían de sus sucesoras actuales no sólo en lo que decían sobre los procesos que describían sino también sobre la forma en que estructuraban y parcelaban una gran parte del mundo.

Dado que la práctica científica implica siempre la producción y explicación de generalizaciones sobre la naturaleza, tales explicaciones suponen la existencia de un lenguaje con una mínima riqueza; por tanto, la adquisición de dicho lenguaje lleva consigo el conocimiento de la naturaleza. Si la presentación de ejemplos forma parte del aprendizaje de términos como "adaptación", "selección natural, etc. (adaptando ejemplos a nuestro caso), lo que se adquiere al mismo tiempo es el conocimiento del lenguaje y del mundo. De esta manera, el estudiante aprende lo qué significan dichos términos, las características que son relevantes para relacionarlos con la naturaleza, y las cosas que pueden decirse de ellos sin caer en contradicciones; Además, pueden comprender las categorías de cosas que pueblan al mundo y algo sobre la conducta que es permitida y la que es prohibida.

El conocimiento de las palabras y de la naturaleza, en la mayoría de los casos, sostiene Kuhn (1989), se adquieren a la vez, son dos caras de la misma moneda que el lenguaje proporciona.

Adaptando estas consideraciones a nuestro caso, podemos plantear que al aprender evolución, por ejemplo, los términos "variación" y "adaptación diferencial" y "población" deben aprenderse a la vez, y la explicación del mecanismo de la selección natural debe

estar relacionada con este proceso. Dicho de otra manera, no puede aprenderse "variación" y "adaptación" de manera independiente de lo que significan entre sí.

En "Dubbing and redubbing; the vulnerability of rigid designation" (1990) Kuhn presta mucha atención al proceso de aprendizaje de los estudiantes y plantea una serie de consideraciones sobre los aspectos que deben tomarse en cuenta para que el estudiante aprenda el léxico específico de una teoría.

Kuhn (1990) plantea que el vocabulario por medio del cual se describe y explica un fenómeno natural, como la mecánica, es en sí mismo un producto histórico, desarrollado en el tiempo y transmitido repetidamente. En el caso de la mecánica newtoniana, se requiere el aprendizaje de un grupo de términos que hayan sido estables por algún tiempo, y de la transmisión de técnicas relativamente estándares. Los estudiantes, deben contar con un vocabulario adecuado para referir los objetos físicos y su localización en el espacio y el tiempo. Sobre esto, ellos deben tener un vocabulario matemático rico que permita la descripción cuantitativa de trayectorias y de análisis de velocidades y aceleraciones de cuerpos en movimiento, etc. En el caso del evolucionismo, existe un amplio vocabulario que describe y explica diversos aspectos relacionados con el proceso de cambio de las especies (adaptación, diversidad, mecanismos evolutivos, etc.). En el capítulo II hemos abordado algunos de ellos.

Considerando el ejemplo de la mecánica, Kuhn sugiere una serie de aspectos que los estudiantes deben adquirir en el curso de su formación como practicantes de una disciplina. Trataremos de adaptar estos puntos para el caso del evolucionismo:

♦ Primero, como se indicó anteriormente, el aprendizaje no puede empezar hasta que este bien asimilado un vocabulario periférico común. Esta consideración correspondería a lo que anteriormente denominamos criterio disciplinario, es decir, definir los conceptos previos que son importantes para la teoría aprendida.

♦ Segundo, en el proceso de pensamiento en el cual los nuevos términos son adquiridos, las definiciones juegan un papel insignificante. Antes de empezar a definir, estos términos deben ser introducidos por medio de la descripción de ejemplos de su uso, es decir, mostrando las situaciones en las que se aplican a través de ejemplos paradigmáticos. Estos ejemplos pueden ser proporcionados por alguien que domina la nueva teoría. Esta exposición puede incluir demostraciones directas, por ejemplo, en el laboratorio de estudiantes, de una o más situaciones ejemplares en las cuales los términos en cuestión son aplicados por alguien que sabe como usarlos, o descripciones de aplicaciones donde se utiliza el vocabulario que es familiar, intercalado con los términos que se deben aprender. Estos dos procesos son intercambiables. Ambos incluyen un elemento indispensable: los términos deben ser enseñados a través de la descripción de presentaciones directas o mediante la descripción de situaciones en las que se aplican (criterio psicopedagógico). El aprendizaje que resulta de semejantes procesos no es, sin embargo, acerca de palabras solas sino también del mundo en el cual ellas funcionan. Para ello se requiere un componente ostensivo y estipulativo, es decir, se aprenden simultáneamente, la naturaleza y el lenguaje de la ciencia, el mundo y el lenguaje (criterio histórico-epistemológico).

♦ El tercer aspecto significativo del proceso de aprendizaje que habria que considerar es que es raro que la exposición de una simple situación ejemplar suministre suficiente información que permita al estudiante usar el nuevo término. Es necesario mostrar varios ejemplos, de distintos tipos, acompañados por ejemplos de situaciones aparentemente similares en las cuales el término en cuestión no se aplica. Estos términos para ser aprendidos además, raramente son aplicados en situaciones aisladas, sino son, en cambio, encajados en pautas de semejanza-diferencia propias de la taxonomía, de ahí que deban aprenderse a la vez para formar un grupo de contraste, que permita discriminar dichas semejanzas y diferencias relevantes para una comunidad (criterio psicopedagógico).

♦ Cuarto, el aprendizaje de un término nuevo puede implicar otros términos nuevos, que deben aprenderse junto con el primero. El aprendizaje, de esta manera, permite interrelacionar un conjunto de términos nuevos que estructuran el léxico e la comunidad. En palabras de Pérez R. (1999), el proceso de aprendizaje genera también expectativas respecto al comportamiento y propiedades de los referentes. Es decir, cuando una persona aprende a utilizar un conjunto de términos, aprende generalizaciones sobre fenómenos, tuturos y aún no analizados.

♦ Quinto, Kuhn considera que las rutas de aprendizaje pueden ser distintas, aunque las situaciones de aprendizaje generalmente estén basadas en aplicaciones paradigmáticas (criterio psicopedagógico).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los puntos planteados anteriormente son particularmente importantes para el abordaje didáctico del evolucionismo. El uso de ejemplares paradigmáticos pueden considerarse, como fuentes de conflicto cognitivo, para reforzar los temas que se han detectado problemáticos en el aprendizaje de la teoría evolutiva, que como vimos, coinciden con momentos de crisis en la elaboración de la teoría de la selección natural. En el siguiente apartado precisaremos algunos de estos aspectos.

5. UNA PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL.

En este documento se ha analizado desde distintas perspectivas la compleja problemática que existe en torno al aprendizaje del evolucionismo. Dados los objetivos de la investigación, intentamos ofrecer elementos que nos permitieran elaborar una propuesta sobre cómo abordar los aspectos centrales de la teoría de la selección natural en el aula, tomando en cuenta diferentes criterios. Por ejemplo, diversos autores en el campo de la pedagogía han señalado que para que se produzca el cambio conceptual deben existir varios prerrequisitos: que la concepción que manejan los estudiantes le produzca insatisfacción o que ésta tenga limitaciones en su uso o aplicación; y, que exista una concepción alternativa que pueda ser comprendida y sea viable para el aprendiz (Posner, et al, 1982; Chinn y Brewer, 1993). Kuhn (1990) plantea, entre otras cosas, que existen conceptos que deben enseñarse de manera integrada ya que conforman un todo desde un punto de vista epistemológico. El análisis histórico de la construcción de la teoría nos muestra qué aspectos fueron fundamentales para su surgimiento, y la tesis que hemos sostenido en este trabajo es que éstos deben ser considerados en su enseñanza, ya que son cruciales para su aprendizaje.

Tomando en cuenta estas consideraciones, así como todos los aspectos analizados en el presente trabajo, se presenta una propuesta un poco más específica (dado que ya se han señalado varios aspectos que pueden ser considerados) sobre como puede ser abordada esta temática en el aula. Aunque hay todavía mucho trabajo por hacer se plantean a continuación algunas consideraciones y actividades que pueden tomar en cuenta los profesores para favorecer la comprensión de conceptos evolutivos fundamentales.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<p>A. Definir los conceptos y teorías que deben manejar los alumnos, tomando en cuenta los criterios antes señalados. Esto es, definir los contenidos de enseñanza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Un criterio que puede tomarse en cuenta al momento de definir contenidos es la señalada por Kuhn (1990) en el sentido de que los conceptos que conforman una teoría no pueden aprenderse o definirse paso a paso sino por el contrario, deben aprenderse en grupo. De acuerdo con el autor, las generalizaciones explícitas e implícitas acerca de los conceptos que explican una parte del mundo desempeñan un papel esencial en el proceso de aprendizaje, ya que una vez que se han aprendido los términos que forman parte de un conjunto interrelacionado de conceptos, éstos pueden utilizarse para hacer generalizaciones nuevas. o En este sentido, es importante tener presente el núcleo central del evolucionismo que permite determinar qué conjunto de términos están interrelacionados, por lo que no es posible abordarlos de manera aislada (criterio disciplinario). Por ejemplo, el mecanismo de la selección natural supone la existencia de un pensamiento poblacional, la aparición azarosa de la variación, la lucha por la existencia y la selección de la variación que confiere ventajas adaptativas en un momento dado, entre otros aspectos. La enseñanza de estos temas debe ser abordada de manera integral, ya que no pueden comprenderse adecuadamente si no se contempla la relación que guardan entre sí. Los demás temas que puedan ser abordados están en función de las intenciones del curso y del contexto curricular e institucional. o A pesar de que ningún estudio indica que los alumnos acepten la fijeza de las especies, como punto de partida es importante mostrarles el hecho de la evolución, a través de la presentación de pruebas anatómicas, paleontológicas, etc., además de tomar en cuenta la forma en que Darwin refutó la teología natural (1ª crisis - el paso del fijismo al evolucionismo). Es decir, considerando aspectos históricos, teóricos y prácticos.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<p>B. Generar estrategias que permitan conocer, analizar y discutir las ideas previas de los alumnos.</p>	<ul style="list-style-type: none">o Los profesores pueden analizar la gran cantidad de información que existe sobre el tema, así como generar instrumentos que les permitan conocer las ideas previas de sus alumnos.o Analizar y discutir la consistencia y coherencia interna de dichas ideas. <p>Dado que las ideas alternativas de los alumnos tienen muchas semejanzas con la explicación que ofreció Lamarck sobre este proceso, se podrían generar discusiones sobre los aspectos que Lamarck y los estudiantes tienen en común y mostrar por qué y en qué sentido tanto Lamarck como los estudiantes están equivocados.</p>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<p>C. Generar actividades que provoquen conflicto cognitivo a los estudiantes a través de demostraciones y experiencias que permitan comprobarlas</p>	<ul style="list-style-type: none"> o A través de la discusión y argumentación de algún problema planteado que no pueda ser resuelto con base en las concepciones de los alumnos, poner en duda sus explicaciones. Esto puede llevarse a cabo por medio de la confrontación de diferentes concepciones (ejemplares paradigmáticos en términos de Kuhn), que son distintas a las de los estudiantes y mostrar cómo fueron planteadas. La forma como pueden ser abordados los conceptos que encontramos centrales para la comprensión de la teoría de la selección natural se plantea en los siguientes puntos. o Pueden analizarse las diferencias que existen entre la idea de adaptación perfecta y la de adaptación diferencial por medio de la contrastación de las ideas de los estudiantes, de Lamarck y de Darwin; se puede analizar también cómo Darwin cambió sus ideas con respecto a la adaptación en el proceso de construcción de su teoría (2ª crisis.- de la adaptación perfecta a la adaptación diferencial). o Puede contrastarse la idea del origen adaptativo de la variación con el desarrollo del concepto de selección natural. o Debe resaltarse la importancia que tuvo la introducción del azar en las explicaciones sobre el origen de la variación y el rechazo a la idea de intencionalidad de los organismos; analizando cómo históricamente se generó esta explicación (2ª crisis.- estudio de la problemática de la adaptación) y como fueron desarrollándose teorías sobre la herencia, que permitieron ubicar este proceso y reforzando los planteamientos de Darwin. o Se puede confrontar la explicación que ofrece el pensamiento tipológico en el contexto de la explicación del mecanismo de la selección natural, de tal manera que se muestre que no puede existir selección natural si los miembros de una población son iguales y si no existen diferencias significativas entre ellos. La idea de pensamiento poblacional se puede reforzar analizando cómo Darwin llegó a plantearlo y las posibilidades que implicó en términos de la elaboración de su teoría (2ª crisis.- del pensamiento tipológico al poblacional).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<p>D. <i>Mostrar la validez de las nuevas explicaciones</i></p>	<p>o Esto puede hacerse a través de la exposición de cómo fueron validadas en el contexto científico, es decir, cómo surgieron como problemas de investigación, cómo fueron resueltos y aceptados por la comunidad científica.</p> <p>Por ejemplo, la idea de la "herencia de los caracteres adquiridos" puede permitir la discusión sobre los distintos criterios metodológicos que se han considerado válidos a lo largo de la historia. Puede analizarse porqué esta concepción se consideraba válida en tiempos de Lamarck y Darwin, y cómo esta idea fue rechazada cuando los criterios teórico-metodológicos cambiaron, a partir de los experimentos de Weissman.</p>

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<p>E. <i>Comparar las ideas iniciales con las finales de los estudiantes con el propósito que comprendan la validez de sus nuevas explicaciones</i></p>	<p>o A partir de la determinación de los conceptos centrales a aprender, determinar estrategias e instrumentos que permitan hacer estas comparaciones. Una herramienta puede ser la elaboración de mapas conceptuales en diferentes momentos del ciclo escolar. Dichos mapas pueden tratar sobre las distintas explicaciones que se han dado sobre el proceso evolutivo (lamarckiana, darwiniana, neodarwiniana, etc.).</p>

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Para terminar este capítulo es importante señalar que esta estrategia se basa en la consideración de los principales problemas en la comprensión de la teoría de la selección natural en la licenciatura. Esto puede parecer limitada para este nivel educativo, ya que deben analizarse aspectos más complejos del evolucionismo contemporáneo. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que los conceptos señalados constituyen en núcleo duro de este programa de investigación, por lo que es fundamental que los alumnos lo comprendan adecuadamente, ya que a partir de ellos pueden más fácilmente asimilar los conceptos más abstractos y complejos que están involucrados en las explicaciones evolucionistas.

CAPÍTULO VII.

CONSIDERACIONES FINALES.

En la introducción se señaló que este trabajo partió de la consideración de que la historia y la epistemología de la ciencia pueden hacer importantes aportaciones en el contexto de la educación. De manera particular sostiene que el análisis de los obstáculos y los momentos de crisis que ocurrieron en el proceso de elaboración del evolucionismo, particularmente de la construcción de la teoría de la selección natural planteada por Carlos Darwin en 1859, deben ser tomados en cuenta en la enseñanza de estos temas, ya que son cruciales para la comprensión de los fundamentos centrales del evolucionismo actual.

En el desarrollo de la presente investigación se detectó que los momentos de mayor dificultad y ulterior avance del darwinismo, coinciden con los momentos de mayor dificultad en su aprendizaje¹; y que los conceptos creados por Darwin a partir de lo que se ha llamado crisis, coinciden con los conceptos esenciales del darwinismo. Mientras Darwin no los tiene, no considera la teoría acabada; de forma análoga, mientras los estudiantes no los manejen, no podrán lograr comprender el darwinismo, y por tanto, las bases fundamentales del evolucionismo contemporáneo.

Los conceptos cruciales que resultan de lo que aquí llamamos crisis, resultaron indispensables en la construcción del darwinismo y la tesis que se sostiene en este trabajo es que son indispensables en su enseñanza porque representan lo que Gagliardi y Giordan (1988) denominan conceptos estructurantes, es decir, conceptos que

¹ El hecho de que coincidan algunas interpretaciones de los fenómenos naturales entre los científicos y los aprendices, como es la idea de que todo tiene un fin y una dirección, o el que la aparición de las variaciones de los seres vivos sea resultado de la necesidad, o la gran dificultad para incorporar el azar

permiten superar obstáculos epistemológicos. Esta conclusión se deriva de la comparación entre el análisis histórico-epistemológico del darwinismo y del análisis de las dificultades en su aprendizaje.

Con el objeto de que se entienda el sentido que se le da al término crisis, enseguida se presenta un caso que puede considerarse paradigmático respecto al presente planteamiento. Se trata del cambio que sufre el pensamiento darwiniano de ser un pensamiento tipológico a ser un pensamiento poblacional.

Antes de que Darwin tuviera el concepto de selección natural, pero ya con una concepción evolucionista, seguía aceptando la idea de adaptación perfecta. La lectura de los *Principios de la población* de Malthus, le permite entender que las variaciones entre individuos de la misma especie pueden tener efectos en la sobrevivencia y en la reproducción, es decir, lo lleva a reconocer el carácter diferencial de la adaptación. Con dicho concepto se entiende que la lucha por la existencia no se da entre iguales, pues esto llevaría simplemente a la eliminación del exceso de población. En cambio, si la competencia se da entre organismos portadores de variaciones que los hacen más o menos aptos, la limitación de recursos provoca una selección - natural en tanto se da en la naturaleza sin la participación humana -. Así, aunque Darwin no tiene la teoría completa, presenta un notable avance al elaborar el concepto de selección natural. Análogamente, cuando los estudiantes logren entender lo que implica la adaptación diferencial, aumentará su comprensión acerca de la forma como opera el mecanismo de la selección natural.

Estas consideraciones llevan a analizar la analogía que han planteado diversos autores como Posner, et al (1982) Villani (1992), Piaget (1981), Kuhn (1990) etc., en el sentido de

en las explicaciones de los procesos biológicos, es una respuesta que deberán dar los filósofos de la ciencia.

que la lógica del proceso de aprendizaje de los estudiantes es similar a la de la construcción de las teorías científicas.

En torno a estos planteamientos se puede señalar que existen diferentes formas para abordar el estudio de la naturaleza; estas dependen de las intenciones, del objeto de estudio, de la etapa de desarrollo en que encuentre el individuo (un estudiante de primaria percibe y codifica de manera distinta la información que proviene del entorno que un universitario o un científico), entre muchos otros aspectos. Sin embargo, todas parten de un cierto potencial humano que está dado por las características cognitivas propias de nuestra especie, resultado de nuestra historia evolutiva.

Cuando los científicos y los aprendices de ciencia construyen conocimientos utilizan las herramientas cognitivas propias de los humanos; en ambos casos estamos hablando de una transformación conceptual. Sin embargo, en cada uno de estos ámbitos existen diferencias en las intenciones, los roles sociales, los criterios de validación del conocimiento, el contexto de aprendizaje, etc. Una de esas diferencias radica en el hecho de que los científicos están en condiciones de generar nuevos conocimientos para la ciencia, y los estudiantes deben adquirir y comprender los conocimientos elaborados por ellos. Dicho de otra manera, los alumnos deben manejar un vocabulario que describa los problemas que aborda su campo de conocimiento, reconocer los problemas que son importantes, además de conocer los criterios de clasificación en términos de semejanzas y diferencias que plantea la comunidad científica; sólo en etapas posteriores de su formación, serán capaces de generar conocimiento científico original.

Dado que en términos de la intencionalidad escolar, lo deseable es que los estudiantes transformen su estructura conceptual de tal manera que sea lo más parecida posible a

la de la teoría en cuestión; entonces, sería lógico pensar que los obstáculos epistemológicos que se presentaron en su proceso de construcción, coincidan con las dificultades en su aprendizaje, ya que en ambos casos, deben conectarse los conceptos que conforman dicha estructura: en un caso de manera original, y en el otro debido a las intenciones del aprendizaje escolar.

Se puede suponer que son momentos de dificultad porque implican una explicación distinta y más compleja de la realidad que va más allá del conocimiento cotidiano. Se ha visto que el conocimiento que manejan los estudiantes se caracteriza por ser altamente intuitivo, es perceptualmente obvio y cumple con una función explicativa que permite al individuo controlar los sucesos cotidianos de su ambiente; pero, aunque le permiten predecir correctamente los sucesos, no siempre son válidos científicamente.

Las explicaciones de los científicos, o en este caso naturalistas, en su proceso histórico de construcción, han pasado por diversas etapas en las que estaban basadas en el conocimiento cotidiano (como es el caso de la herencia de los caracteres adquiridos, el efecto del uso y desuso de los órganos, etc.). Pero, lo que ha definido a la ciencia, en el contexto actual, es que ha constituido una nueva forma de racionalidad que va más allá del sentido común y que es propia de ella. Para ello, ha establecido intenciones, compromisos, formas de abordar los fenómenos, criterios de validación y confirmación del conocimiento, que son distintos de los de los estudiantes y de los científicos o naturalistas de otras épocas. La ciencia implica una forma especial de pensar que en varios sentidos no es natural. En primer lugar, porque el mundo no está construido con base en el conocimiento cotidiano; por lo que este tipo de conocimiento no nos proporcionará una forma de comprender la naturaleza de la ciencia; las explicaciones científicas no siempre se basan en la intuición y con frecuencia se encuentran al margen de la experiencia cotidiana (las explicaciones evolutivas son una

ejemplo inobjetable de esta consideración -no es posible "ver" a la luz del sentido común, cómo evolucionan las especies). Por otra parte, la ciencia funciona con base en metodologías que exigen un pensamiento riguroso y muchas veces cuantitativo que el conocimiento cotidiano no requiere.

En este sentido, Darwin dio el gran paso al ofrecer una explicación científica sobre la evolución; empleó enfoques teóricos y metodológicos rigurosos que le permitieron dar una explicación satisfactoria acerca de uno de los fenómenos perceptualmente menos obvios para los legos y los estudiantes, el de la evolución de las especies.

De este modo, es de esperarse que los conceptos de mayor dificultad para los estudiantes coincidan con los momentos de crisis en la elaboración de la teoría de la selección natural, porque su construcción (en el caso de Darwin) y su comprensión (en el caso de los estudiantes), requieren una elaboración distinta y más compleja. El punto de contacto, dado que los vemos retrospectivamente, es que los dos pretenden la elaboración de una misma estructura conceptual. La diferencia, como ya dijimos, es que los científicos la han planteado de manera original, y los estudiantes, para comprenderla, deben reconstruirla a partir de sus propios marcos de referencia y construcción y de las condiciones del contexto escolar, entre otros aspectos.

Esto no significa que exista un paralelismo en estos procesos de construcción al estilo de "la ontogenia recapitula a la filogenia". Es decir, que en la historia del desarrollo intelectual de los individuos puedan encontrarse las mismas etapas que se manifestaron en la historia de la ciencia, como plantean algunos autores. Más bien es importante remarcar que no es sorprendente que los momentos de dificultad en la construcción de una teoría científica coincidan con las dificultades en su aprendizaje, puesto que, ante la intencionalidad escolar lo deseable es que se produzca una transformación que se

acerque a elaboración de la misma estructura conceptual. Esto no significa que deba llevarse a cabo a través de la misma vía o estrategia; reiteramos que la actividad escolar y la científica son distintas y que no puede hacerse ciencia en el salón de clase. Pero, el punto que vincula a la ciencia y a los aprendices es el contenido de enseñanza, donde se establecen conceptos, teorías y enfoques metodológicos a aprender. En el caso de los científicos, dichas teorías son construidas de manera original, y en el caso de los estudiantes, deben reconstruirlas a partir de sus concepciones previas, sus habilidades cognitivas y su contexto, sin que esto signifique que los estudiantes van a llegar a la elaboración de la misma estructura. Por el contrario, la experiencia y numerosos trabajos nos dicen que esto no es nada trivial; y que existen grandes dificultades para que los alumnos comprendan las teorías científicas, entre ellas, la teoría de la selección natural.

Esto significa, como se ha mostrado en este trabajo, que transformar el modo de explicar el mundo, desde el punto de vista del conocimiento cotidiano al científico, no es una tarea fácil. Para ello es necesario contar con herramientas conceptuales y metodológicas que posibiliten comprender los fenómenos naturales de una manera distinta. Ahí es donde la historia y la epistemología de la ciencia puede hacer importantes aportaciones en este campo.

Con esta perspectiva, este trabajo tuvo como intención plantear un enfoque de enseñanza que resaltara la necesidad de introducir en la escuela discusiones sobre la naturaleza de las explicaciones científicas y su proceso de construcción. En este sentido, analizó los principales problemas que existen en la comprensión del evolucionismo; señaló algunos aspectos importantes sobre la construcción de la teoría de la selección natural; y planteó una propuesta de enseñanza que incorpora aspectos histórico-epistemológicos, disciplinarios y psicopedagógicos. Sin embargo, quedó mucho por hacer.

De esta investigación surgen varios problemas a resolver, algunos temas a profundizar y mucho por llevar a la práctica. Entre los aspectos más destacados se señalan los siguientes:

- o Es necesario detallar la propuesta didáctica, de tal modo que pueda ponerse en práctica.
- o Es fundamental conformar un equipo de trabajo que reúna expertos en la disciplina, filósofos, pedagogos, historiadores de la biología, profesores y alumnos de los cursos con el fin de determinar criterios y acciones para llevar a cabo las propuestas.
- o Se debe profundizar y detallar la propuesta de enfoque de enseñanza con el fin de conformar un modelo integral de análisis del proceso educativo.
- o Desde el punto de vista teórico, surge como tema importante de investigación el análisis de la validez de la analogía entre el proceso de construcción de conocimiento de científicos y aprendices.
- o También es relevante estudiar desde un punto de vista filosófico, las características del lamarckismo, como modelo de explicación, debido a la recurrencia de este tipo de concepciones en los estudiantes.
- o En este mismo sentido, es importante comprender cómo se paso de un patrón de explicación lamarckiano a uno darwiniano, de tal modo que pueden generarse herramientas conceptuales que puedan aplicarse en el contexto de la educación.

Para finalizar, nuevamente insistimos en que la consideración de un enfoque histórico-epistemológico es fundamental para que los estudiantes conozcan la naturaleza de la ciencia, ya que generalmente lo que se enseña en la escuela es algo muy distinto a lo que es el conocimiento científico: se disfraza su complejidad y no se plantea como es: una explicación no intuitiva de la naturaleza, que parte de criterios teóricos y metodológicos rigurosos; que define criterios de validez propios, establecidos por una comunidad científica en un contexto social determinado.

Aún cuando en este sentido todavía hay mucho trabajo por hacer, la consideración de la dimensión histórico-epistemológica en la enseñanza de la ciencia en general, y el evolucionismo en particular, representa una magnífica oportunidad para los estudiantes y los profesores, de aprender el lenguaje de la ciencia, y con ello, favorecer su comprensión acerca de las principales teorías y conceptos científicos, y la modificación de sus ideas sobre la ciencia, sus métodos y su proceso de construcción.

BIBLIOGRAFÍA.

Arnay, J. (1997). "Reflexiones para un debate sobre la construcción del conocimiento en la escuela; hacia una cultura científica escolar", en Rodrigo y Arnay comp. **La construcción del conocimiento escolar**. Ed. Paidós, Barcelona. Pag. 35-58.

Angseesing, J.P. (1978). "Problem-Solving exercises and evolution teaching", **Journal of Biological Education**, 12(1), 16-20.

Ausubel, D. (1979). Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento, en S. Elam, **Educación y estructura del conocimiento**, Buenos Aires, Ed. Ateneo, 211-238.

Bachelard, G. (1987). **La formación del espíritu científico**, Ed. Siglo XXI, México.

Bensaude-Vincent B. (1982). "Paul Langevin: un alegato en favor de la historia de la ciencias", **Mundo Científico**, 22:3. 184-186 pp.

Bishop, B. & Anderson, Ch. (1990). "Student conception of natural selection and its role in evolution", **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 27, No. 5, pp. 415-427.

Bowler (1995). **Charles Darwin. El hombre y su influencia**, Alianza Universidad, Madrid.

Brackenridge, B. (1989). "Education in science, history of science, and textbook - necessary vs. sufficient conditions", **Interchange**, 20 (2).71-80 pp.

Brumby, M. (1979). "Problems in learning the concept of natural selection", **Journal of Biological Education**, Vol. 13, No. 2. pp. 119-122.

Brumby, M. (1984). "Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students", **Science Education**, Vol. 68, No. 4, pp. 493-503.

Brody, T. (1984). "La historia de la ciencia en la enseñanza", **Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología Quipu**, 1 (2). 195-204 pp.

Campos y Gaspar (1996). "Las condiciones inmediatas de la construcción de conocimiento en el aula", en **Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia**, Campos y Ruiz ed. UNAM, México.

Carey, S. (1991). "Knowledge acquisition, enrichment or conceptual change", **Learning and instruction**, 4(1), 89-111 pp.

Carretero, M. y M. Limón (1997). "Problemas actuales del constructivismo. De la teoría a la práctica". en Rodrigo y Arnay comp. **La construcción del conocimiento escolar**. Ed. Paidós, Barcelona.

Catalan F. A. y Catany E. M. (1986). "Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la historia", **Enseñanza de la Ciencias**, 4 (2). 163-166 pp.

Coll, C. (1990). "Un marco de referencia psicológico para la educación escolar: la concepción constructivista del aprendizaje y de la enseñanza. En C. Coll, A. Marchesi y J. Palacios (comp.). **Desarrollo psicológico y Educación II. Psicología de la Educación**. Edit. Alianza, Madrid.

Chinn, C. & W. Brewer. (1993). "The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction", **Review of Educational Research**, 63(1), 1-49.

Darwin, Ch. (1889). **Viaje de un naturalista alrededor del mundo**. Ed. Grech, Madrid.

Darwin, Ch. (1993). **Autobiografía**. Alianza Editorial, México.

Darwin, Ch. (1994). **El origen de las especies**. Ed. Porrúa, México.

De Castro, R. & Pessoa, A. (1995). "The historic approach in teaching: analysis of an experience", **Science & Education**, 4, 65-85.

DiSessa, A. (1983). "Phenomenology and the evolution of intuition", en D. Gentner y A. L. Stevens (comps.), **Mental models**, Hillsdale, N. J. Lawrence Erlbaum.

Dobzhansky, T. (1973). "Nothing in biology makes sense except in the light of evolution", **American Biological Teacher**, 35:125-129.

Dobzhansky, T. Et al. (1983). **Evolución**. Ed. Omega, Barcelona.

Duschl, R. y D. Gitomer (1991). "Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice", **Journal of Research in Science Teaching**, 28(9): 839-858.

Duschl, R. (1997). **Renovar la enseñanza de la ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo**. Ed. Narcea, Madrid.

Eldredge, N. (1982). La macroevolución, **La recherche**, 13(133):616-626.

Gagliardi y Giordan Gagliardi, R. y Giordan A (1986). " La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza ", **Enseñanza de las Ciencias**, 4 (3). 253-258 pp.

Gagliardi, R. (1988). "Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias", **Enseñanza de las Ciencias**, 6 (3). 291-296 pp.

García, E. (1997) "La naturaleza del conocimiento escolar: ¿transición de lo cotidiano a lo científico o de lo simple a lo complejo". en Rodrigo y Arnay comp **La construcción del conocimiento escolar**. Ed. Paidós, Barcelona.

Gauld, C. (1992). "Wilberforce, Huxley & the use of history in teaching about evolution", **The American Biology Teacher**, 1992, 54(7). 406-410 pp.

Garton, A. (1994) **Interacción social y desarrollo del lenguaje y la cognición**. Ed. Paidós Barcelona.

Gil, D. y Pessoa, A. (1992) **Tendencias y experiencias innovadoras en la formación del profesorado en ciencias**, I Taller Subregional sobre formación y capacitación docente en Matemáticas y Ciencias.

Gil P., D. (1986). "La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas", **Enseñanza de las Ciencias**, 4 (2). 111-121 pp.

Giordan, A. (1982). **La enseñanza de las ciencias**, Ed. Siglo XXI. Madrid. 221 pp.

Giordan, A. (1987). "Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje", **Enseñanza de la Ciencias**, 5 (2). 105-110 pp.

Gómez, R. (1969). **La enseñanza de las ciencias: su enfoque histórico-evolutivo**. Angel Estrada y Cía. Ed. Buenos Aires. 237 pp.

Gomez, C. y Coll, S. (1994). "¿De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo?". **Cuadernos de Pedagogía**, 221, 8-10.

Gould, S. (1980). "Is a new and general theory of evolution emerging?". **Paleobiology**. 6:119-130.

Greene, E. (1990). "The logic of university students' misunderstanding of natural selection", **Journal of Research in Science Teaching**, Vol. 27, No. 9. pp 875-885.

Guillén, F. (1997) **Construcción de un modelo de enseñanza para biología**. Tesis del Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM.

Gutiérrez, R. (1987). "Psicología y aprendizaje de las ciencias. El modelo de Ausubel", **Enseñanza de las Ciencias**, 5 (2). 118-128 pp.

Hernández C. (1992). **La historia como una alternativa a la enseñanza de la Biología a nivel Superior**. I Taller Iberoamericano sobre la Enseñanza de las Ciencias Biológicas en la Educación Superior. La Habana, Cuba.

Hernández, C. et al. (1993). **La enseñanza de la ciencia y sus implicaciones epistemológicas, históricas y cognoscitivas**. II Conferencia Internacional para profesores de Ciencias NSTA-OEA. Oaxtepec, Mor. México.

Hernández, C. (1995). **El papel de la historia de la ciencia en la formación del biólogo**, Tesis de la Maestría en Ciencias (Enseñanza e Historia de la Biología), Facultad de Ciencias, UNAM.

Hernández, C (1996). "La enseñanza de la historia del evolucionismo: un estudio de caso", en **Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia**. Campos y Ruiz, comp. UNAM.

Hull, D. (1978). "Altruism in Science: A Sociobiological Model of Cooperative Behavior" in **The Metaphysics of evolution**, State University of New York Press, Albany. Hull, D.

Hull, D. (1988). **Science as a Process An evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science**. Univ. Chicago Press. Chicago and London.

Jeffery, K. & L. Roach. (1994). "A study of the presence of evolutionary precepts in pre-high school textbooks", **Journal of Research in Science Teaching**, 31(5), 507-518.

Jiménez, A. (1994). "Teaching evolution and Natural Selection: a look at textbooks and teachers", **Journal of Research in Science Teaching**, 31(5), 519-536.

Jolly, P. & B. Strawitz. (1984). "Teacher-student cognitive style and achievement in biology", **Science Education**, 68(4), 485-490.

Jiménez M. y Fernández J. (1987). "El "desconocido" artículo de Mendel y su empleo en el aula", **Enseñanza de las Ciencias**, 5 (3). 39-246 pp.

Jordanova (1984). **Lamarck**. FCE, México.

Kimura, M. (1979). "The neutral theory of molecular evolution", **Scientific American**, 241(5):94-104.

- Kuhn, T. (1982). **La estructura de las revoluciones científicas**. FCE. México.
- Kuhn, T. (1989). **Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos**. Ed. Paidós, Barcelona.
- Kuhn, T. (1990). "Dubbing and redubbing: the vulnerability of rigid designation", en C.W. Savage (ed.), **Scientific Theories, Minnesota Studies in the philosophy of science**, Vol. XIV, University of Minnesota Press, Minneapolis, pp. 298-318.
- Lakatos I. y A. Musgrave eds. (1975). **La crítica y el desarrollo del conocimiento**, Ed. Grijalbo, México.
- Lakatos, I. (1978). **La metodología de los programas de investigación**, Alianza Universidad, Madrid.
- Lamarck, J. (1809). **La filosofía zoológica**, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Laudan, L. (1977). **Progress and its problems. Towards a theory of scientific growth**. University California Press, Berkeley, CA.
- Laudan, L. (1984). **Science and Values**, University of California, Press, Berkeley, CA.
- Limoges, C. (1976). **La selección natural**. Siglo XXI, México.
- Linder, C. (1993). "A challenge to conceptual change", **Science Education**, 77(3): 293-300.
- Manuel, D. (1986). "History and philosophy of science with special reference to biology: what can it offer teachers?", **Journal of Biological Education**, 20 (3):195-200.
- Matthews, M. (1989). "A role for history and philosophy in science teaching", **Interchange**, 20 (2). 3-15 pp.
- Martínez, S. (2001). **De los efectos a las causas. Sobre los patrones de explicación científica**. Ed. Paidós, México. 189 pp.
- Mayr, E. (1968). **Especies animales y evolución**, Ed. Universidad de Chile y Ariel, Madrid.
- Mayr, E. (1992). **Una larga controversia: Darwin y el darwinismo**, Edit. Crítica, Barcelona.

- Mayr, E. (1993). **The growth of biological thought**. Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- Mendoza, E. (1992). **La construcción del conocimiento en la investigación educativa de la enseñanza de la ciencia**, CISE, UNAM.
- Mendoza, E., Rojo, A. (1992). **La investigación educativa en la construcción del conocimiento en la enseñanza de la ciencia**, CISE, UNAM.
- Moreno M. (1986). "Ciencia y construcción del pensamiento", **Enseñanza de las Ciencias**, 4 (1), 57-63 pp.
- Novak, J. (1982). **Teoría y Práctica de la Educación**, Alianza Editorial, Madrid. 275 pp.
- Novak, J. (1988). "Learning science and the science of learning", **Studies in Science Education**, 15, 77-101 pp.
- Oldroyd, D. (1993). **El arco del conocimiento**, Ed. Grijalbo, Barcelona.
- Otero, J. (1986). **La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar**, CISE, UNAM.
- Papp, D. (1983). **Darwin: la aventura de un espíritu**. Edit. Espasa-Calpe, Madrid.
- Peñalver, C. (1988). "El pensamiento sistémico: del constructivismo a la complejidad", **Investigación en la Escuela**, 1988, No. 5, 11-16 pp.
- Polo C. F. y López, J. A. (1987). "Los científicos y sus actitudes políticas ante los problemas de nuestro tiempo", **Enseñanza de las Ciencias**, 5 (2) 149-156 pp.
- Pérez R., A. (2001). **Kuhn y el cambio científico**, FCE, México.
- Piaget, J. (1981). **Psicología y epistemología**, Ed. Ariel, España.
- Piaget, J. (1985). **Biología y conocimiento**. Siglo XXI, México.
- Pintrich, P. et al. (1993). "Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change", **Review of Educational Research**, Vol. 63, No. 2, pp. 167-199.
- Popper, K (1974). **Conocimiento objetivo**. Ed. Tecnos, Madrid.
- Popper, K. (1983). **Conjeturas y Refutaciones**, Ed. Paidós, Madrid.

- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). "Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Pozo, J. (1997). "El cambio sobre el cambio: hacia una nueva concepción del cambio conceptual en la construcción del conocimiento científico", en Rodrigo y Array ed. **La construcción del conocimiento escolar**, Ed. Paidós, Barcelona.
- Roberts, B. (1979). "Survival of the fittest- How the phrase has survived", *Journal of Biological Education*, 13(1), 9-11.
- Rodrigo, M. (1997). "Del escenario sociocultural del constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas". en Rodrigo y Array comp. **La construcción del conocimiento escolar**. Ed. Paidós, Barcelona.
- Ruiz, R. (1987). **Charles Darwin. La teoría moderna de la evolución**. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ruiz, R. (1996). "La metodología científica y enseñanza de la ciencia", en **Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia**. Campos y Ruiz, comp. UNAM.
- Ruiz, R. y A. Ayala (1999). **Darwinismo: una definición**, FCE, México.
- Ruiz, R. y Ayala, F. (1998). **El Método en la Ciencia. Epistemología y Evolución**. CONACYT.
- Ruiz y Ayala (2002). **De Darwin al DNA y el origen de la humanidad; la evolución y sus polémicas**, F.C.E., México. (en prensa).
- Ruiz, E. (1983). "Reflexiones en torno a las teorías del aprendizaje", *Perfiles Educativos*, No. 2. CISE-UNAM, México.
- Russell, N. (1988). "Teaching biology in a wider context: the history of the discipline as a method: 1", *Journal of Education*, 1988, 22 (1). 45-49 pp.
- Sánchez, C. (2000). **La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes**, Tesis del Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Sebastiá, J. M. (1989). "El constructivismo: una marco teórico problemático", **Enseñanza de la Ciencias**.

Settlage, J. (1994). "Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 31, No. 5. pp 449-457.

Settlage, J. y M. Jensen (1996). "Investigating the inconsistencies in college student responses to natural selection test questions", *The electronic Journal of Science Education*. 1(1): sept.

Smith, M., Harvey, S. & Mc Nerney, J. (1995). "Foundational issues in evolution education", *Science & Education*, 4, 23-46.

Solé, I. (1990). "Bases psicopedagógicas de la práctica educativa". En T. Maura, et al, *El curriculum en el centro educativo*, I.C.E.-Horsori, Barcelona.

Suárez, L, Hernández, C. et al. (1993). *La historia de la ciencia: estrategia de enseñanza de la biología en el bachillerato*. II Conferencia Internacional para profesores de Ciencias NSTA-OEA. Oaxtepec, Mor. México.

Suárez, L. (1993). "Metodología de la Enseñanza de la Ciencias", *Perfiles educativos*, No. 62. 31-37 pp. CISE, UNAM, México.

Tamir, P. "History and philosophy of science an biological education in Israel", *Interchange*, 1989, 20 (2) 95-98 pp.

Tobias, S. (1994). "Interest, prior knowledge, and learning", *Review of Educational Research*, Vol. 64, No. 1, pp. 37-54.

Toulmin, S. (1972) *La comprensión humana*, Alianza Universidad, Madrid.

Trowbridge, J. & J. Wandersee. (1994). "Identifying critical junctures in learning in a college course on evolution", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 31, No. 5. pp. 459-473.

Villani, A. (1992). "Conceptual change in science and Science Education", *Science Education*, 76(2):223-237.

Vincenzo, N. (1994). "From down house landlord to brazilian high school students: wath has happened to evolutionary knowledge on the way?", *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 537-556.

Von Hagen, V. (1983). *Darwin y las islas encantadas. la fascinante historia de las Galápagos*, Ed. Diana, México

Wandersee, J. (1985). "Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions?", **Journal of Research Science Teaching** , 23(7):581-597.

Winchester, I. (1989). "Editorial - History, Science, and Science Teaching, **Interchange**, 20 (2). i-vi pp.

Zuzovsky, R. (1994). "Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: an epistemological approach to the education of science teachers", **Journal of Research Science Teaching**, Vol. 31, No. 5. pp. 557-574

ANEXO 1.

El presente cuestionario forma parte de un proyecto de investigación que tiene por objeto analizar las concepciones que los estudiantes de esta licenciatura tienen sobre la evolución. Los resultados que se obtengan no tienen ningún efecto en la evaluación de este curso; nos interesa únicamente conocer tus opiniones sobre diversos temas. Te agradeceremos que respondas a las siguientes preguntas.

Nombre _____ del
 curso: _____ Sexo: _____
 Año de ingreso a la carrera: _____ Escuela de
 Procedencia: _____

A. Instrucciones:

De los tres números que se encuentran entre la frase de la derecha y la de la izquierda, tacha el que creas que sea la mejor opción para completar la idea, de acuerdo con los siguientes criterios:

Tacha el 1 si sólo la frase de la izquierda es correcta.

Tacha el 2 si no sabes o no te acuerdas.

Tacha el 3 si sólo la frase de la derecha es correcta.

1. Los conejos primitivos de Siberia tenían pelo oscuro; actualmente esos conejos son blancos.

Aunque la característica hereditaria de pelo blanco

apareció en los conejos primitivos porque al vivir en la nieve necesitaban pelo blanco para confundirse con el ambiente nevado.	1	2	3	apareció en los conejos primitivos como cambio casual.
---	---	---	---	--

2. Las poblaciones ancestrales de osos polares tenían pelo oscuro.

Pero ...

en las poblaciones ancestrales de osos polares surgieron osos de pelo blanco por lentamente de cambios o mutaciones. Estos osos blancos sobrevivieron en lugar de los de pelo oscuro.	1	2	3	como resultado de vivir en la nieve, el pelo de los osos polares cambió oscuro a blanco.
---	---	---	---	--

3. Si una población de conejos siberianos de pelo blanco fuera llevada a vivir en un lugar sin nieve ...

los conejos desarrollarían poco a poco pelo oscuro para confundirse con el nuevo ambiente.	1	2	3	algunos conejos morirían porque sería fácilmente encontrados por sus depredadores.
--	---	---	---	--

4. Ciertas poblaciones de salamandras que viven en cuevas son ciegas porque

se adaptaron al ambiente oscuro de las cuevas.	1	2	3	las salamandras con visión murieron sin dejar
--	---	---	---	---

descendencia.

5 ¿Cómo podría explicarse que cierta especie de salamandra que vive en cuevas, sea ciega?

porque ciertas salamandras de la población, que tenía la característica de falta de visión, se reprodujeron exitosamente, hasta que aumentó su proporción en la población.	1	2	3	como no utilizaban la vista, las salamandras que vivían en cuevas, heredaron a sus hijos la característica de una "menor habilidad" para ver, hasta que evolucionaron a salamandras ciegas
--	---	---	---	--

6. Los osos polares actuales tienen pelo blanco porque ..

en cada nueva generación, la mayoría de los osos heredaba el color de pelo de sus padres	1	2	3	en cada nueva generación los osos van teniendo el pelo cada vez más claro que sus padres.
--	---	---	---	---

B. Instrucciones.

Para las siguientes preguntas, tacha la letra que corresponda a la respuesta correcta

1. Los chitas son animales capaces de correr a más de 100 km /hr. al perseguir a sus presas. ¿De qué manera explicarías cómo surgió esa habilidad para correr tan rápido, si se supone que los ancestros de los chitas corrían tan sólo a 30 km /hr.?

L) Las generaciones de chitas pudieron correr cada vez más rápido porque ejercitaban mucho sus patas.

T) Como sus presas eran muy veloces, los chitas corrieron cada vez más rápido

O) Debido a que los chitas corrían cada vez más rápido, desarrollaron músculos mejores

D) Algunos chitas pudieron correr más rápido y heredaron esta característica a sus hijos

N)

Otra:

2. Un gran número de poblaciones de mosquitos son actualmente resistentes a insecticidas como el DDT. Sin embargo, cuando se empezó a usar el DDT, casi todos los mosquitos morían. Actualmente, muchas poblaciones de mosquitos resisten el DDT porque:

L) Los mosquitos fueron desarrollando poco a poco resistencia al DDT, heredándosela a sus hijos; los que a su vez fueron más resistentes al DDT que sus abuelos.

T) La naturaleza formó mosquitos resistentes al DDT.

O) Algunos mosquitos aprendieron a adaptarse al DDT.

D) Algunos mosquitos eran resistentes al DDT antes de que éste se empezara a usar y heredaron a sus descendientes esta característica.

N)

Otra:

C. Instrucciones.

Cada una de las siguientes preguntas contiene dos partes. En la primera tacha la opción que mejor completa la frase. Estas opciones están indicadas con los números 1 ó 2.

En la segunda parte tendrás que seleccionar la razón por la que elegiste la respuesta de la primera parte. Es decir, tacha una de las tres opciones marcadas con las letras A, B, C, que explique mejor tu primera elección

EJEMPLO.

Todas las plantas verdes:

1. Necesitan bióxido de carbono.
2. Requieren de suelo.

PORQUE:

- A. Sin él no pueden respirar.
- B. De él se nutren.
- C. Es indispensable para la fotosíntesis.

Explicación:

Necesitan bióxido de carbono es la respuesta correcta para la primera parte porque las plantas pueden crecer sin suelo.

En la segunda parte la respuesta correcta es que es indispensable para la fotosíntesis. Por tanto, tendrías que tachar el 1 en la primera parte, y la letra C en la segunda.

1. Los tiburones actuales pueden nadar a velocidades de 30 nudos. Supón que sus ancestros nadaban a velocidades menores. La habilidad de nadar más rápido probablemente se debió a que:

1. Surgió en los tiburones en poco tiempo.
2. Hubo un aumento en el porcentaje de tiburones más veloces

PORQUE:

- A. En un momento hubo un cambio heredable que fue seleccionado en algunos tiburones
- B. Mientras los tiburones usaban más sus músculos, más veloces se volvieron y eran mejores cazadores.
- C. La necesidad de atrapar a sus presas, hizo que nadaran más rápido y las alcanzaran con mayor facilidad

2. Ciertas aves de patas largas pueden alimentarse con mayor facilidad en zonas inundadas. Si se transportara a una gran población de aves de patas cortas a una isla remota llena de lagos y pantanos:

1. Algunas aves vivirían y otras morirían.
2. Las aves desarrollarían poco a poco patas largas.

PORQUE:

- A. Las patas de todas las aves cambiarían lentamente hasta que ayudaran mejor a la alimentación
- B. Las pocas aves que tuvieran patas largas sobrevivirían para reproducirse.

C. Las patas de cada ave cambiarían de la misma manera puesto que todas las aves están relacionadas entre sí

3. Las focas que viven cerca del Polo tienen una capa de grasa bajo la piel. Sus ancestros pudieron haber tenido una capa de grasa menos gruesa que la actual. A través de los siglos, ocurrieron tales cambios en las focas, ya que:

1. La necesidad de conservar el calor hizo que su capa de grasa engrosara.
2. Cada generación más focas iban teniendo una capa de grasa gruesa.

PORQUE:

- A. Las focas querían adaptarse a su medio ambiente.
- B. Las crías heredaron de sus padres una capa más gruesa de grasa.
- C. Los pocos individuos que tenían una capa de grasa más gruesa, sobrevivieron y tuvieron crías.

4. Hace muchos años, la dispersión de plagas de langostas era controlada con el insecticida DDT. Recientemente los químicos han encontrado que las langostas ya no son atacadas por el DDT. La razón de este cambio es que:

1. Cada generación un mayor número de langostas no son afectadas por el DDT.
2. A través de los años, todas las langostas van siendo gradualmente menos afectadas por el DDT.

PORQUE:

- A. En cada generación, las langostas que sobrevivían al DDT, tenían descendencia.
- B. La necesidad de sobrevivir hizo que las langostas cambiaran
- C. El uso del DDT provocó una mutación en el ADN de las langostas.

5. Una población de mariposas nocturnas estaba formada por individuos que tenían alas oscuras o claras. El bosque donde solían vivir tenía árboles con troncos ya sea oscuros o claros. Recientemente una plaga mató a los árboles de tronco claro, pero sobrevivieron los de tronco oscuro.

El efecto de la desaparición de árboles de tronco claro sobre las mariposas nocturnas será que cada generación:

1. Las mariposas nocturnas claras desarrollarán alas cada vez más oscuras
2. Habrá una proporción mayor de mariposas nocturnas oscuras en la población.

PORQUE:

- A. Las polillas se adaptarían a los cambios en su ambiente
- B. La necesidad de sobrevivir haría que las polillas cambiaran de color
- C. Sólo las polillas con alas oscuras escaparían a sus depredadores y sobrevivirían hasta reproducirse.

6. Algunos sapos pueden dar saltos de hasta 2 m de longitud.

Supón que los sapos actuales tenían ancestros que no saltaban tan lejos. La habilidad para saltar tan lejos probablemente:

1. Se desarrolló para todos los sapos en unas cuantas generaciones.
2. Implicó un incremento en el porcentaje de sapos que podían saltar más lejos.

PORQUE:

- A. Mientras más usaban sus músculos, los sapos podían efectuar saltos cada vez más lejanos

- B. Primero hubo un cambio genético en unos cuantos sapos y éstos se reprodujeron más.
- C. La necesidad de evitar ser atrapados por sus depredadores hizo que saltaran más lejos.

7. Las mariposas que tienen un larga trompa pueden alcanzar mejor el néctar que está en la parte profunda de las flores alargadas que las mariposas con trompa corta. Si una gran población de mariposas fuera transportada a un jardín lleno de plantas cuyas flores fueran largas:

- 1. Algunas mariposas morirían y otras vivirían.
- 2. Las mariposas desarrollarían cada vez trompas más largas.

PORQUE:

- A. Las mariposas que tengan trompas largas sobrevivirán hasta reproducirse.
 - B. Las mariposas de trompa corta necesitan trompas largas para sobrevivir.
 - C. Las trompas de las mariposas cambiarían lentamente hasta que tuvieran la longitud necesaria para alcanzar el néctar de las flores.
- 8. Una población de pinos vive en un área que ha tenido varios años de veranos muy calientes y secos. Si los veranos continuaran así en el futuro, se esperaría que:**

- 1. Algunos pino sobrevivirán, pero otros morirán por la sequía.
- 2. Todos los pino se adaptarán al clima seco.

PORQUE:

- A. La necesidad de sobrevivir a los veranos causó que los pinos desarrollaran formas de evitar la sequía.
- B. Algunos pinos tienen la capacidad de conservar mejor el agua y sobrevivir a la sequía.
- C. Los pinos lograrán soportar el clima cálido y seco y sobrevivir a la sequía.

9. Los murciélagos que se alimentan de noche tienen un agudo sentido del oído, pero sus ancestros pudieron no haber oído tan bien. Los murciélagos actuales tienen un mejor sentido del oído ya que:

- 1. La necesidad de alimentarse de noche determinó que aumentara su sentido del oído.
- 2. En cada generación más murciélagos oían mejor.

PORQUE:

- A. Para alimentarse mejor, los murciélagos necesitaban oír mejor los ruidos del medio ambiente que sus ancestros.
- B. Las crías heredaron mejor sentido del oído que sus padres y a su vez lo transmitieron a sus hijos.
- C. Los murciélagos que oían mejor, se alimentaban mejor y tenían más crías.

10. En una población de lagartijas algunas tienen la piel verde, mientras que otras la tienen amarilla. En el lugar donde viven estas lagartijas, hay pastos con hojas verdes y con hojas amarillas. Hace poco una enfermedad atacó a los pastos amarillos y acabó con ellos. El efecto que tendrá la desaparición de pastos amarillos sobre las lagartijas, es que:

- 1. Las lagartijas amarillas perderán poco a poco su color.
- 2. Aumentará la proporción de lagartijas verdes.

PORQUE:

- A. Sólo las lagartijas verdes escaparán a sus depredadores y se reproducirán.
- B. Las lagartijas se irán adaptando a los cambios del ambiente.
- C. Para sobrevivir, las lagartijas cambian en color de su cuerpo.

ANEXO 2

MAPA CURRICULAR

Licenciatura en Biología
Facultad de Ciencias, UNAM

Sem.	Materias					
1º	Química	Matemáticas I	Física	Biología de Procariontes	Filosofía e Historia de la Biología	
2º	Química Orgánica	Matemáticas II	Biología Molecular de la Célula I	Biología de Protistas y Algas	Sistemática I	
3º	Ciencias de la tierra	Bioestadística	Biología Molecular de la célula II	Biología Molecular de la célula III	Biología de plantas I	
4º	Paleobiología	Biogeografía I	Biología de Hongos	Biología de Animales I	Genética I	Biología de plantas II
5º	Taller	Optativa	Biología de Animales II	Ecología I	Biotecnología I	
6º	Taller	Optativa	Biología de Animales III	Evolución I	Recursos Naturales	
7º	Taller	Optativa	Optativa			
8º	Taller	Optativa	Optativa			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN